

Mașini electrice II

Îndrumar de laborator

S.L. Bogdan Vîrlan

Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași

Facultatea de Inginerie Electrică, Energetică și Informatică Aplicată

Laborator nr. 1

Reguli de protectie a muncii

1. Aspecte generale :

Intrucat tensiunea de lucru pentru anumite lucrari practice este 3x380 V, 50 Hz, se impune respectarea normativelor in vigoare referitoare la lucrul in instalatii sub tensiune.

Electrocutarea reprezinta un accident periculos deoarece curentul electric ce strabate corpul actioneaza asupra centrilor nervosi si a muschilor inimii putand provoca moartea.

De asemenea, electro-traumatismele pot avea consecinte foarte grave.

Accidentele electrice au caracter periculos pentru ca tensiunile electrice nu pot fi sesizate de organele de simt ale omului si pentru ca se produc instantaneu, inainte de a fi posibila orice reactie reflexa de aparare.

Corpul omenesc opune trecerii curentului electric o rezistenta electrica de 40-100 K Ω . Aceasta poate scadea sub valoarea de 1 K Ω , in prezenta unor factori ca :

- *umiditatea pielii ;*
- *suprafata de contact intre piele si electrozi ;*
- *presiunea electrozilor asupra pielii ;*
- *valoarea tensiunii .*

Intensitatea si tensiunea periculoasa :

Se considera nepericulos :

- *curentul continuu de intensitate de pana la 50 mA ;*
- *curentul alternativ de intensitate de pana la 10 mA ($f=50-60$ Hz) .*

Pentru fixarea conditiilor de securitate se iau in cinsideratie tensiunile nepericuloase admise :

- *40 V pentru atingeri indirecte ;*
- *36 V pentru iluminatul local in incaperi nepericuloase ;*
- *24 V pentru alimentarea aparatelor electrice si iluminatul portabil in incaperi periculoase;*
- *12 V pentru alimentarea aparatelor electrice si iluminatul portabil in incaperi foarte periculoase .*

Conditii in care se produc electrocutarile :

Curentul electric strabate corpul omenesc cand are 2 puncte de contact cu mase sau conductoare electrice aflate la o anumita diferenta de potential electric prin care se poate inchide circuitul format .

Electrocutarea se poate produce in mai multe moduri :

Atingere directa : omul aflat pe pamant atinge un element neizolat din circuitele de lucru sau doua elemente neizolate .

Atingere indirecta : omul atinge un obiect metalic aflat accidental sub tensiune , simultan cu atingerea unui obiect bun conductor de electricitate in contact cu pamantul .

Tensiunea de pas : se produce la atingerea simultana a doua puncte de pe sol aflate la potentiale diferite

2. NORME DE SECURITATE A MUNCII IN LABORATORUL CU PROFIL ELECTRIC :

Pentru desfasurarea in bune conditii a lucrarilor practice de laborator , studentii vor respecta urmatoarele norme de protectie a muncii :

- a) La executarea montajelor se va avea in vedere dispunerea aparatelor si a instrumentelor de masura astfel incat sa poata fi usor manevrata ;*
- b) Legaturile electrice trebuie sa asigure un contact bun ;*
- c) Se va realiza legarea la pamant a aparatelor si a instalatiilor care necesita acest lucru inaint e de inceperea lucrarii practice ;*
- d) Punerea in functiune a montajului sau a schemei electrice se va face numai dupa verificarea acesteia de catre cadrul didactic indrumator ;*
- e) Este interzisa modificarea montajului aflat sub tensiune ;*
- f) Este interzisa atingerea partilor metalice aflate sub tensiune ;*
- g) La terminarea lucrarii se va intrerupe tensiunea , si numai dupa aceea se vor desface legaturile montajului ;*
- h) La orice defectiune aparuta in instalatia electrica in timpul lucrului se va scoate imediat instalatia de sub tensiune si se va anunta cadrul didactic indrumator .*

MASURI DE PRIM AJUTOR :

In vederea acordarii primului ajutor in caz de accident , trebuie sa se intreprinda urmatoarele actiuni :

- a) Sa se inlature pericolul ;*
- b) Se recomanda sa se faca apel la ajutorul publicului pentru a chema salvarea , pompierii , etc ;*
- c) Sa se acorde cele mai simple ingrijiri posibile ;*
- d) Sa se asigure cele mai bune conditii pentru accidentat ;*
- e) Sa se organizeze transportul rapid al accidentatului .*

Prelungirea efectului de electrocutare conduce la pierderea vietii

Un accidentat prin electrocutare trebuie scos cat mai repede posibil de sub actiunea curentului electric .

Efectul curentului electric asupra accidentatului proveaca :

- oprirea respiratiei sau a inimii cu sau fara pierderea constiintei ;*

- arsuri care pot fi : arsuri localizate , chiar profunde (dar care afecteaza doar o mica suprafata a corpului) arsuri intinse , generalizate , pe o mare parte din suprafata corpului ;

- scoaterea victimei de sub actiunea curentului electric trebuie facuta astfel incat personalul de salvare sa nu fie pus si el in pericol de accidentare ;

Scoaterea de sub actiunea curentului electric , se va executa dupa cum urmeaza :

- se va scoate imediat de sub tensiune instalatia la care s-a produs accidentul prin dispozitivele de intrerupere din imediata apropiere a accidentului ;

- in lipsa unor dispozitive de intrerupere sau daca acestea se afla departe de locul accidentului , se vor pune in scurtcircuit partile din instalatia aflata sub tensiune ;

- prin punerea in scurtcircuit a partilor din instalatie aflate sub tensiune sau a conductoarelor aflate sub tensiune , se obtine acelasi efect ca si prin intreruperea instalatiei cu dispozitive de intrerupere ;

- nu se abandoneaza niciodata actiunea de a aduce la viata a victimei inainte de a se cunoaste cert starea sa .

Readucerea la viata prin respiratie artificiala se poate face prin:

- respiratie gura la gura sau gura la nas ;
- respiratie cu ajutorul aparatelor speciale ;
- respiratie artificiala manuala ;
- procedee complementare de reanimare .

Personalul care intervine in operatie de salvare prin respiratie artificiala trebuie sa tina cont de urmatoarele reguli generale :

- trebuie sa opereze cu rapiditate maxima ;

- operatia nu poate fi intrerupta decat de catre medic , singurul care poate hotara asupra starii victimei .

- operatia se va prelungi pana la readucerea la viata a victimei sau pana la ordonarea intreruperii ei de catre medic .

INSTRUCȚIUNI DE PSI

Art.1. Persoanele încadrate în muncă precum și studenții au următoarele obligații principale privind prevenirea și stingerea incendiilor:

- să cunoască și să respecte normele generale de prevenire și stingere a incendiilor din unitatea în care își desfășoară activitatea și sarcinile de prevenire și stingere a incendiului;

- la terminarea programului, să verifice și să ia toate măsurile pentru înlăturarea cauzelor ce pot provoca incendii;
- să anunțe imediat organul ierarhic superior despre existența unor împrejurări de natură să provoace incendii, s-au despre producerea unor incendii și să acționeze, cu mijloacele existente, pentru stingerea acestora;
- să întrețină mijloacele de prevenire și stingere a incendiilor de pe locul de muncă în bună stare de utilizare.

Art.2. Este strict interzis fumatul în locurile de muncă unde există pericol de incendiu sau explozie, în încăperile cu aglomerări de persoane, în ateliere și laboratoare.

Art.3. în aceste locuri se vor afișa vizibil anunțuri ca: FUMATUL INTERZIS, PERICOL DE INCENDIU, PERICOL DE EXPLOZIE.

Art.4. Se vor amenaja locuri speciale pentru fumat, dotate cu scrumiere, vase cu apă, sau lăzi cu nisip, pentru stingerea resturilor de țigări și a betelor de chibrit.

Art.5. Se interzice fumatul sau folosirea focului deschis în toate spațiile în care se lucrează la instalațiile electrice sau la utilajele electrice.

Art.6. Prin foc deschis, în sensul menționat în prezentele norme se înțelege arderea în aer liber; care nu are un spațiu închis de combustie special amenajat (flacăra de chibrit, lumânare, lămpiu de gătit, lipit sau iluminat, focurile făcute în aer liber, flăcările utilizate la sudură, cele rezultate din unele reacții chimice etc)

Art.7. La folosirea instalațiilor electrice de forță și iluminat, se va asigura o bună funcționare a utilajelor și aparatelor respective, prin revizii înainte de intrarea în funcțiune și prin înlăturarea imediată a defecțiunilor constatate.

Art.8. In timpul exploatarea rețelelor electrice se va face verificarea rezistenței izolației, astfel:

- în încăperile obișnuite, o dată pe an;
- în încăperile ce conțin vapori și gaze toxice, de două ori pe an.

Art.9. Tablourile electrice, releele, contactoarele etc. vor fi prevăzute cu carcase de protecție, iar la tablouri se vor întrebuința numai siguranțe dimensionate conform normelor în vigoare.

Art.10. Se interzice înlocuirea fuzibilelor arse cu fir de liță, staniol sau cu alte materiale dacă se depășește rezistența stabilită prin calcul.

Art. 11. Clemele siguranțelor lamelare nu se fixează pe lemn, carton sau alte materiale combustibile.

Art. 12. Se interzice supraîncărcarea circuitelor prin racordarea mai multor consumatori decât cei prevăzuți pentru instalația respectivă.

Art. 13. instalațiile pentru iluminatul de siguranță (evacuare, continuarea lucrului, gardă) vor fi menținute în permanentă stare de funcționare.

Art. 14. Reostatele de pornire sau de reglare a turației diferitelor mașini electrice vor fi protejate cu carcase metalice prevăzute cu orificii de răcire. Acestea vor fi curățate de praf și de scame cel puțin o dată pe săptămână

Art. 15. Se interzice acoperirea lor cu materiale combustibile (hârtie, cârpe, lemn etc) sau curățarea lor cu lichide combustibile, benzină, petrol etc).

Art. 16. Înainte de a se face legăturile între orice fel de utilaje sau aparate electrice la sursa de curent, trebuie să se stabilească sarcina solicitată de acestea, rezistența conductoarelor precum și intensitatea curentului.

Art. 17. Aparatele electrice portative se vor folosi numai cu ștechere și conductoare izolate cu cauciuc, în bună stare și supravegheate pe tot timpul cât sunt sub tensiune.

Art. 18. Revizia, repararea sau înlocuirea diverselor elemente ale instalațiilor electrice de iluminat, forță sau curenți slabi, în medii explozive, se vor face numai după întreruperea curentului electric.

Art. 19. Se interzice:

- folosirea în stare defectă a instalațiilor electrice și consumatoarelor de energie electrică, de orice fel, precum și a celor uzate și improvizate;*
- încărcarea instalațiilor electrice (conduțe, cabluri, transformatoare, întrerupătoare, comutatoare, prize etc) peste sarcina admisă;*
- suspendarea corpurilor de iluminat direct de conductoarele de alimentare;*
- agățarea sau introducerea pe și în interiorul panourilor, nișelor, tablourilor electrice etc. a obiectelor de orice fel;*
- folosirea instalațiilor electrice neprotejate în medii cu vapori explozivi și degajări de praf combustibil;*
- executarea lucrărilor de întreținere și reparații a instalațiilor electrice de către personal necalificat și neautorizat;*
- utilizarea lămpilor mobile portative, alimentate prin cordoane improvizate sau uzate;*
- folosirea la corpurile de iluminat a filtrelor de lumină improvizate din carton, hârtie sau alte materiale combustibile.*
- întrebuințarea radiatoarelor și a reșourilor electrice în alte locuri decât cele stabilite și în condiții care prezintă pericol de incendiu;*
- folosirea legăturilor provizorii prin introducerea conductoarelor electrice fără ștecher, direct în priză;*
- utilizarea consumatorilor de energie electrică (fier de călcat, reșou, ciocan de lipit etc.) fără luarea măsurilor de izolare față de elementele combustibile din încăperi;*
- așezarea pe motoarele electrice a materialelor combustibile (cârpe, hârtie, lemn etc);*
- lăsarea neizolată a capetelor conductoarelor electrice, în cazul demontării parțiale a unei instalații.*

Art.20. La toate tipurile de tablouri, legăturile trebuie făcute reglementar. în apropierea tablourilor se interzice păstrarea materialelor și substanțelor combustibile și blocarea accesului. Se interzice legarea directă la bornele tabloului de distribuție a lămpilor de iluminat a motoarelor electrice a a altor consumatori de energie electrică.

Art.21. Toate utilajele și aparatele electrice vor fi prevăzute cu plăci pe care sunt trecute caracteristicile lor și schema de conexiuni.

Art.22. Conductoarele cu izolație din material plastic nu se vor monta direct pe elementele de construcție combustibile.

Art.23. Aparatele, tablourile de distribuție și utilajele electrice, precum și racordurile acestora, trebuie să aiba gradul de protecție, împotriva incendiilor și exploziilor, corespunzătoare categoriei de pericol de incendiu al încăperilor în care se montează.

Art.24. Nu este admisă folosirea motoarelor și aparatelor electrice cu carcasele și capacele demontate, sau în condiții în care să nu asigure răcirea lor printr-o bună circulație a aerului din jur.

Art.25. Încălzirea lagărelor și a caracaselelor va fi controlată periodic, pentru a nu depăși temperaturile admise.

Art.26. Circuitele electrice în încăperile cu pericol de explozie trebuie ferite de deteriorări mecanice.

Art.27. Corpurile metalice ale aparatelor, utilajelor și motoarelor electrice vor fi legate la pământ, secțiunea conductoarelor de legare trebuind să corespundă normelor.

Art.28. Revizia completă a instalațiilor electrice montate în medii explozive se va face cel puțin o dată pe an și numai de personal calificat.

Art.29. Periodic, se va face revizia instalațiilor electrice de iluminat, de forță sau de curenți slabi (tablouri de distribuție, starea conductoarelor, dozelor, prizelor, întrerupătoarelor, corpurilor de iluminat, conexiunilor, rezistenței chimice și legăturilor la pământ.

Art.30. Accesul mașinilor de stingere a incendiilor trebuie asigurată permanent prin căi de acces libere și practicabile în tot timpul anului.

Art.31. în cazul începutului de incendiu la instalațiile electrice se vor scoate de sub tensiune atât instalația cuprinsă de instalațiile vecine pereclitate.

Laboratorul numărul 2

Mașina asincronă - Considerații generale

Mașina asincronă este mașina de curent alternativ care la o frecvență constantă a a tensiunii de lucru are viteza reglabilă în funcție de sarcina și de regimul de funcționare.

Mașina asincronă este utilizată cel mai adesea în regim de motor, fiind folosită de la acționările casnice sau în medicină de mică putere, la acționările industriale cele mai diverse: ventilatoare, pompe centrifuge, instalații de ridicat, mașini-unelte, procese și operații în metalurgie, chimie, textile – ca mașini de medie și mare putere, în asociere cu convertoare statice în ultimul timp .

În momentul de față se folosesc motoare asincrone până la puteri unitare de 25MW. Tensiunile de alimentare statorice sunt în general standardizate; de exemplu standardul german VDE – 0530 acceptă ca valori nominale de joasă tensiune : (24); (42); 125; 380; 500; 660; 1000[V] și de înaltă tensiune : 3; 5; 6; 10[kV]. În ceea ce privește puterile, acestea sunt normalizate, anume : 0,06; 0,09; 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; (3,7); 4,0; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75; 90; 110; 132; 160; 200; 250; 315; 335; 355; 375; 400; 425; 450; 475; 500; 530; 560; 600; 630; 670; 710; 750; 800; 850; 900; 1000[kW].

Constructiv mașinile asincrone clasice sunt de două tipuri

- cu rotor în scurtcircuit (în colivie) prezentat în Fig. 1;

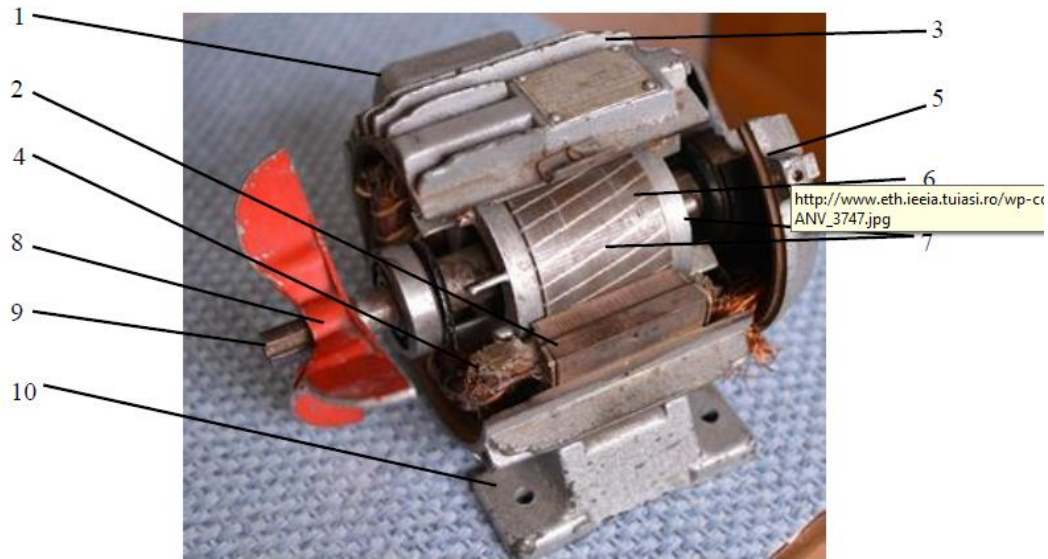


Fig. 1. Mașină asincronă cu rotor în scurtcircuit

1 – placă de borne; 2- jug statoric; 3 – carcasă cu aripioare de răcire; 4 – înfășurare statorică; 5 – capac cu suport lagăr; 6 – rotor; 7 – înfășurare rotorică; 8 – ventilator; 9 – ax; 10 – talpa de susținere.

- cu rotor bobinat (cu inele) prezentat în Fig. 2.

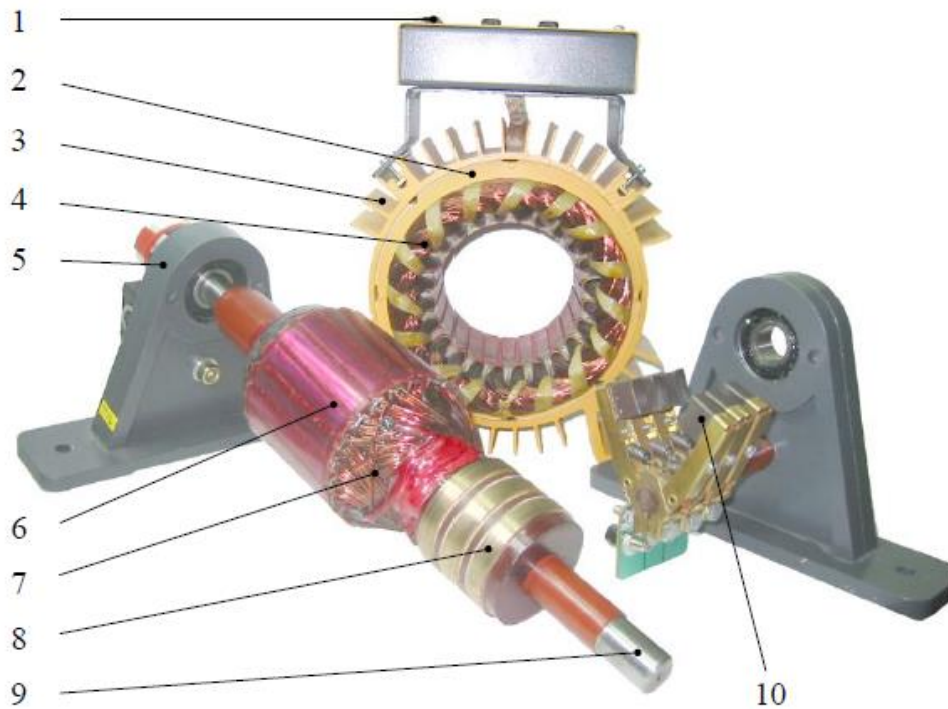


Fig. 2. Mașină asincronă cu rotor bobinat – variantă didactică

1 – placă de borne; 2- jug statoric; 3 – aripioare de răcire; 4 – înfășurare statorică; 5 – suport lagăr; 6 – rotor; 7 – înfășurare rotorică; 8 – inele; 9 – ax; 10 – perie.

Din punct de vedere al principiului de funcționare NU există nici o diferență între cele două tipuri constructive, rotorul mașinii asincrone cu colivie fiind capabil să aibă automat numărul de poli statoric pe când, rotorul mașinii asincrone cu inele trebuie proiectat să aibă același număr de poli ca cel statoric.

În construcție normală statorul este inductorul iar rotorul este indus. În construcție inversată statorul este indus și rotorul este inductorul. De asemenea, în anumite aplicații, se construiesc mașini asincrone cu rotor exterior, de regulă cu rotor în scurtcircuit, la care statorul (inductorul), este plasat în interiorul rotorului. Mașinile asincrone clasice, indiferent de tipul și regimul de funcționare prezintă, la nivel statoric și rotoric, miezul magnetic realizat din tole feromagnetice izolate între ele cu scopul de a reduce pierderile în fier.

Către întrefier, la periferie, cele două miezuri feromagnetice prezintă creștături uniforme distribuite în care sunt reartizate înfășurările statorice respectiv, rotorice. Aceste înfășurări sunt cuplate magnetic, de unde și numele de MAȘINĂ DE INDUCȚIE, și mandatoriu este ca numărul de poli rotorice să fie egal cu numărul de poli statoric. În schimb, nu este obligatoriu ca numărul de faze să fie egal.

Înfășurările rotorice se construiesc după principiul înfășurărilor bobinate. În ceea ce privește înfășurarea rotorică poate fi similară celei statorice, și atunci mașina asincronă este cu rotor bobinat, sau poate fi cu bare plasate în creștături, scurtcircuitată la capete cu inele de scurtcircuitare, și atunci mașina asincronă este cu rotor în scurtcircuit.

La mașina asincronă trifazată cu rotor bobinat capetele libere ale înfășurării rotorice sunt conectate în stea iar celelalte capete sunt conectate la trei inele colectoare fixate pe ax și izolate între ele, accesul la aceste capete fiind posibil prin utilizarea a trei perii ce alunecă pe aceste inele.

Mașina asincronă funcționează stabil în trei regimuri: motor, generator și frână.

În regim de motor, mașina transformă puterea electrică, primită de la o rețea de curent alternativ, în putere mecanică cedată pe la arbore unui mecanism sau unei instalații mecanice. Mașinile asincrone se folosesc mai ales ca motoare și reprezintă unul din cei mai importanți consumatori de energie electrică. Cele mai răspândite sunt motoarele trifazate și monofazate.

În regim de generator, mașina transformă puterea mecanică primită pe la arbore, de la un mecanism de antrenare (turbină eoliană, motor termic, motor electric, etc), în putere electrică debitată pe o rețea consumatoare de curent alternativ.

În regim de frână propriu-zisă, mașina asincronă primește putere mecanică pe la arbore și putere electrică de la o rețea de curent alternativ transformându-le în căldură dezvoltând totodată un cuplu necesar frânării unui mecanism sau al unei instalații mecanice.

Mărimi nominale

Mărimile nominale ale unei mașini asincrone sunt indicate pe plăcuța indicatoare. Acestea caracterizează regimul nominal de funcționare și sunt: tensiunea de alimentare, puterea nominală la ax, curentul absorbit, turația nominală, randamentul, factorul de putere (minim garantat), curentul rotoric (în cazul mașinilor cu rotor bobinat), tensiunea între inele la rotor imobil (la mașinile cu rotor bobinat)

Caracteristic mașinii asincrone este faptul că, indiferent de regimul de funcționare, rotorul se rotește cu o viteză DIFERITĂ de viteza de sincronism. Diferența dintre viteza câmpului învârtitor (viteza de sincronism) și viteza rotorului se exprimă prin intermediul unei mărimi numită alunecare:

Sau []

n_1 - turația de sincronism;

n - turația rotorului;

, p - numărul de perechi de poli ai mașinii, f – frecvența tensiunii de alimentare.

În condiții normale de funcționare alunecarea este cuprinsă în domeniul (1÷6)%.

Variația vitezei și implicit a alunecării motoarelor asincrone, odată cu variația sarcinii, este mică astfel încât este necesară o determinare exactă a acestora, în scopul trasării caracteristicilor de funcționare. Astfel în laboratorul de mașini electrice determinarea vitezei rotorului și implicit a alunecării se realizează prin metoda tahometrului, echipamentele disponibile în laborator având această funcție.

Laboratorul numărul 3

Motorul asincron trifazat

La funcționarea în regim de motor, mașina asincronă absoarbe putere electrică pe la borne și cedează putere mecanică la arbore, disponibilă sub forma unui cuplu mecanic. Transferul de energie, de la circuitul primar (receptor) către circuitul secundar se realizează prin intermediul câmpului magnetic din întrefierul motorului asincron trifazat, câmpul magnetic învârtitor.

Marea majoritate a mașinilor asincrone, utilizate ca motoare sunt în construcție directă (stator-primar, rotor-secundar), în cazul mașinilor asincrone cu rotor bobinat este însă posibilă și funcționarea în construcție inversată.

Regimul de motor al mașinii asincrone este alunecare pozitivă:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} > 0$$

Expresia turației câmpului magnetic învârtitor (turația de sincronism) este:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad [\text{rot/min}]$$

unde:

f_1 - frecvența tensiunii de alimentare;

p - numărul de perechi de poli: $p = 1$; $p = 2$; $p = 3$; $p = 4$; $p = 5$, etc

Deoarece $f_1 = 50$ Hz, pot exista următoarele turații de sincronism: $n_1 = 3000$ rot/min; $n_1 = 1500$ rot/min; $n_1 = 1000$ rot/min; $n_1 = 750$ rot/min; $n_1 = 600$ rot/min; $n_1 = 500$ rot/min;

Uzual, nu se construiesc mașini asincrone care să lucreze cu turații nominale mai mici de 500 rot/min.

La pornire motorul asincron absoarbe de la rețeaua alimentare un curent de valoare mărită care deși se menține un scurt timp, poate duce fie la distrugerea imediată a mașinii prin îmbătrânire prematură fie la perturbarea funcționării consumatorilor cuplați în paralel. De aceea este necesară limitarea valorii acestui curent prin diferite mijloace.

În funcție de tipul constructiv al motorului: cu rotor bobinat sau rotor în scurtcircuit, metodele de pornire intervin asupra circuitului statoric sau rotoric.

Se folosesc următoarele metode:

A. *în cazul motoarelor cu rotor în scurtcircuit*

- alimentarea înfășurării statorice cu tensiune redusă, variabil crescătoare, obținută de la un autotransformator sau regulator de inducție sau de la variatoare de tensiune alternativă ori convertoare de frecvență realizate cu elemente statice;

- alimentarea stea-triunghi. Consta în alimentarea înfășurării statorului conectată inițial în conexiunea stea și apoi, după scăderea valorii curentului de pornire, trecerea în conexiunea triunghi. Practic, este de asemenea o alimentare cu tensiune redusă, corespunzătoare conexiunii stea, urmată de trecerea prin salt la tensiunea corespunzătoare conexiunii triunghi. Această metodă poate fi folosită numai la mașinile la care toate cele șase capete ale înfășurării statorului sunt scoase la placa de borne și pentru care tensiunea de linie a conexiunii triunghi coincide cu tensiunea rețelei de alimentare;

- în cazul mașinilor de putere mică (sub 5,5 KW) este admisă punerea prin conectare directă la rețea în special dacă pornirea se realizează în gol.

B. în cazul motoarelor cu rotor bobinat:

- alimentarea cu tensiune redusă ca la mașina cu rotor scurtcircuit.

- Introducerea în circuitul rotorului a unui reostat de pornire. În momentul cuplării motorului la rețeaua de alimentare acesta se pune pe poziție de valoare maximă iar pe măsură ce rotorul accelerează, valoarea reostatului se reduce treptat, până la scurtcircuitare.

Atenție: Reostatul de pornire nu poate rămâne conectat permanent în circuitul secundar, sau folosit pentru reglarea turației, deoarece este dimensionat pentru funcționarea de scurtă durată.

Inversarea sensului de rotație

Sensul de rotație a rotorului este determinat de sensul de rotație a câmpului magnetic învârtitor, deci de succesiunea fazelor. Prin urmare, inversarea sensului de rotație se obține schimbând două faze între ele la bornele rețelei de alimentare.

Funcționarea în sarcină a motorului asincron

Funcționarea în sarcină poate fi studiată prin intermediul caracteristicilor mașinii asincrone. Acestea reprezintă dependențe între următorii parametri: turația rotorului n ; cuplul mecanic util dezvoltat M_2 ; alunecarea s ; randamentul η ; factorul de putere $\cos\varphi$; curentul absorbit I_1 ; puterea absorbită P_1 și puterea mecanică P_2 .

În Fig. 1 este prezentată schema de încercare pentru un motor asincron trifazat pe standul experimental din Laboratorul de Mașini Electrice.

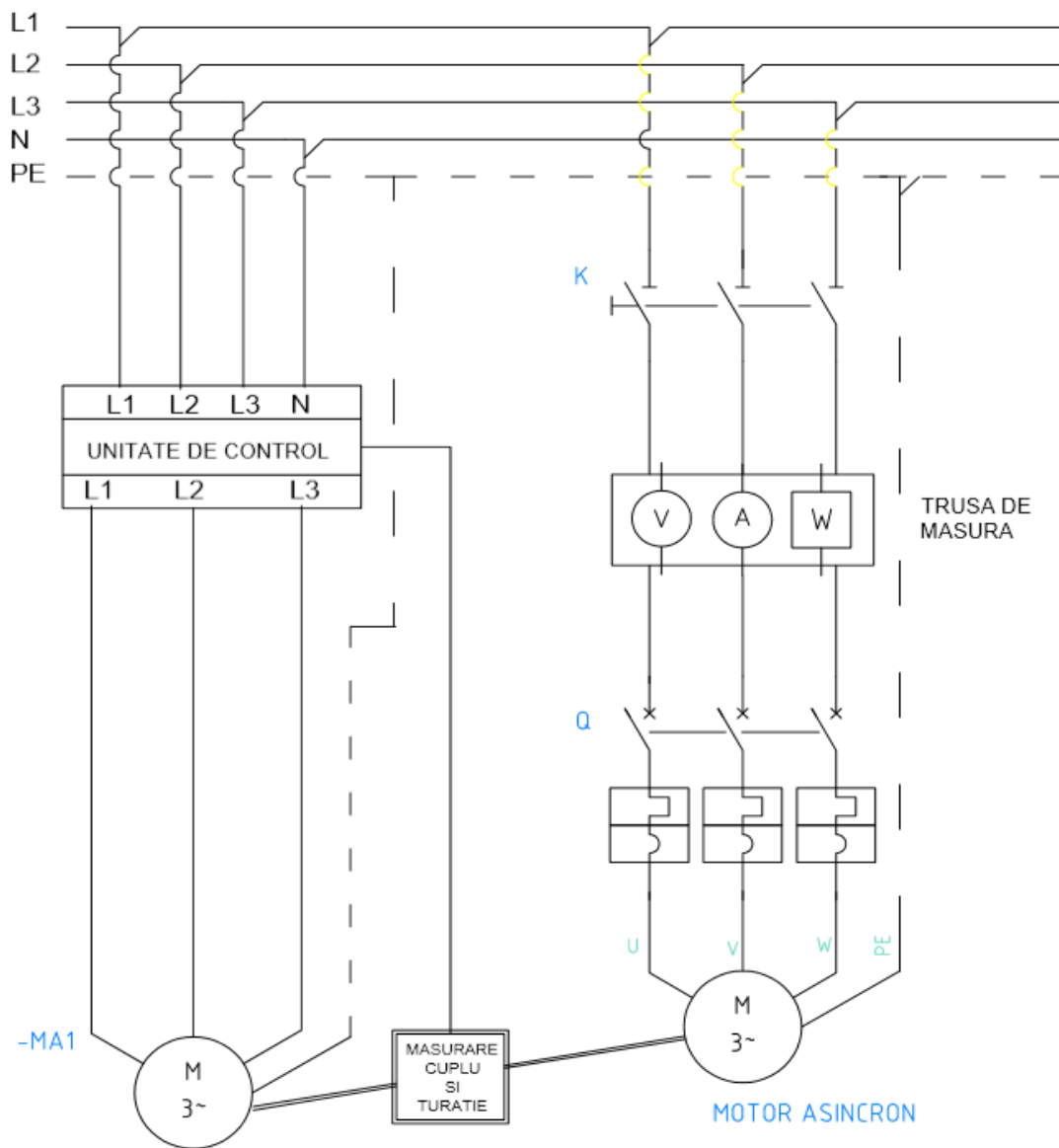


Fig.1 – Schema de încercări a motorului asincron

Descriere standuri experimentale:

	Standul numărul 1. –Lucas-Nulle	Standul numărul 2.- Wuekro
	Unitate de control - $n= 3000$ rot/min; - $M=10$ Nm	Unitate de control - $n= 1500$ rot/min - $M=10$ Nm
MA	Motor de antrenare – Motor asincron alimentat de unitatea de control	Motor de antrenare – Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control
MA2	Motor asincron - $U=400$ VAC; - $P=1,5$ kW; - $n_1= 1500$ rot/min; - $I_1=1,25$ A	Motor asincron - $U=400$ VAC; - $P=1,5$ kW; - $n_1= 1500$ rot/min; - $I_1=1,25$ A
K	Întreprător de sarcină	Întreprător de sarcină
Q	Întreprător magneto-termic	Întreprător magneto-termic
	Trusă de măsură trifazată (V, A și W)	Trusă de măsură trifazată (V, A și W)

Caracteristica randamentului $\eta=f(P_2)$ reprezintă variația randamentului cu puterea mecanică utilă la ax. Aceasta pune în evidență eficiența funcționării mașinii la diverse sarcini. Randamentul maxim al motorului asincron se obține la o încărcare de $0,6\div 0,8$ din puterea nominală P_2 .

Caracteristica factorului de putere $\cos \varphi = f(P_2)$ reprezintă variația factorului de putere impus rețelei de alimentare cu puterea mecanică utilă. Această caracteristică indică măsura în care funcționarea la o anumită sarcină, a motorului asincron, încarcă rețeaua de alimentare cu putere reactivă. Această caracteristică este deosebit de importantă în realizarea bilanțurilor energetice.

Caracteristica alunecării $s = f(P_2)$ reprezintă variația alunecării odată cu sarcina utilă la ax. Cu cât alunecarea este mai mare, deci turația rotorului mai mică, cu atât cresc pierderile Joule în înfășurarea rotorului.

Caracteristicile $I_1= f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$ pun în evidență modul de variație a mărimilor electrice curent și putere absorbite de motor odată cu variația puterii mecanice utile la arbore.

Caracteristica mecanică $n = f(M_2)$ reprezintă dependența dintre viteza n de rotație a rotorului și cuplul util M_2 la arbore. Această caracteristică pune în evidență modul de variație a turației rotorului odată cu modificarea sarcinii la arbore. Caracteristica mecanică a motorului asincron trifazat este o caracteristică rigidă. Turația rotorului scade puțin la creșterea cuplului rezistent la arbore.

Procedeu experimental

Se vor trasa caracteristicile de funcționare ale unui motor asincron trifazat, cu rotor în scurtcircuit construcție directă.

Încărcarea motorului se face cu ajutorul motorului MAI de încărcare alimentat prin unitatea de control.

Astfel:

- Se antrenează motorul în gol prin închiderea întrerupătorului K;*
- Se încarcă în cuplu rezistent motorul prin intermediul potențiometrului de pe unitatea de control a motorului e acționare MAI.*
- Astfel se completează tabelul de mai jos:*

M_2	n	ω	P_1	I_1	U_1	P_2	η
[Nm]	[rot/min]	[rad/sec]	[W]	[A]	[V]	[W]	[%]

În tabelul de mai sus:

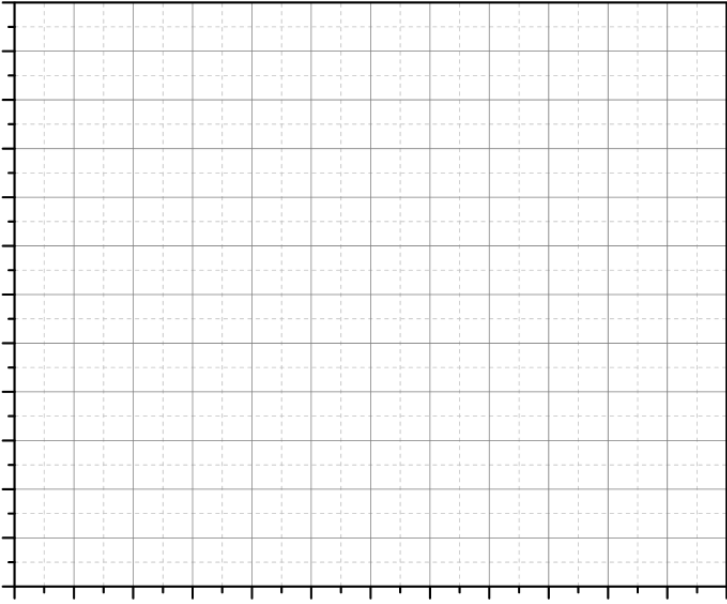
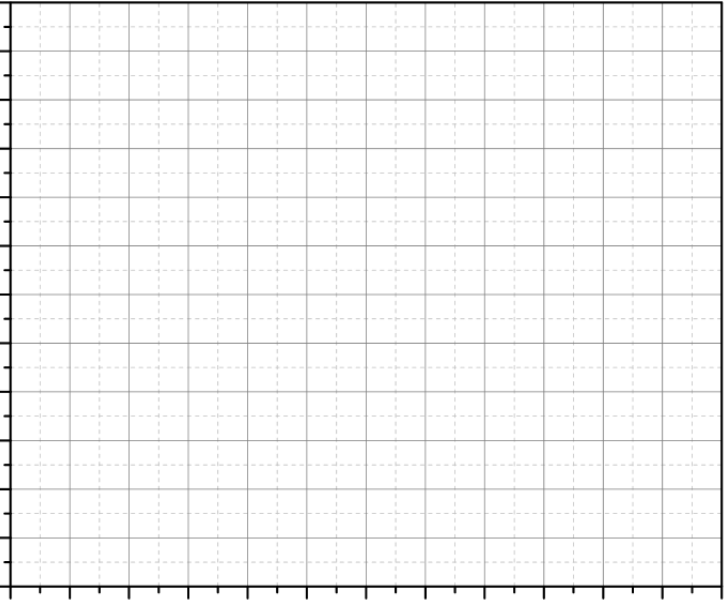
Viteza unghiulară: $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} [\text{rad/sec}];$

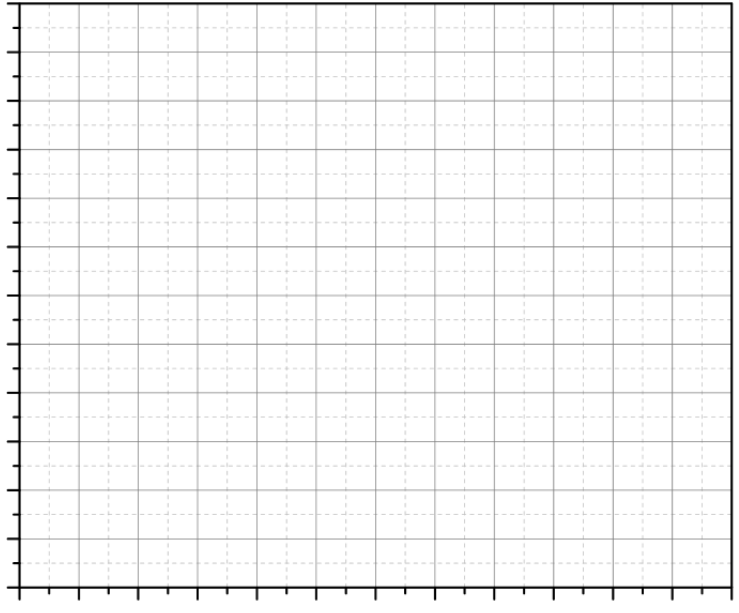
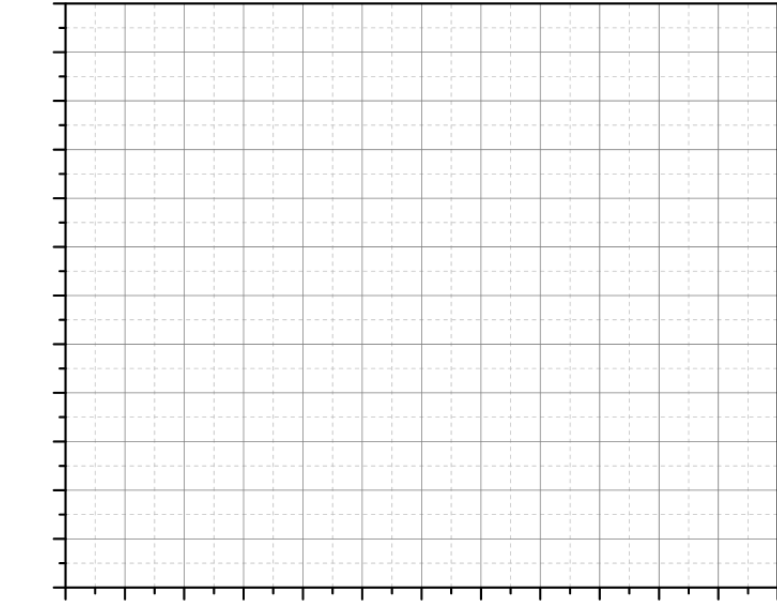
Puterea rezultată la arbore: $P_2 = M_2 * \omega [W];$

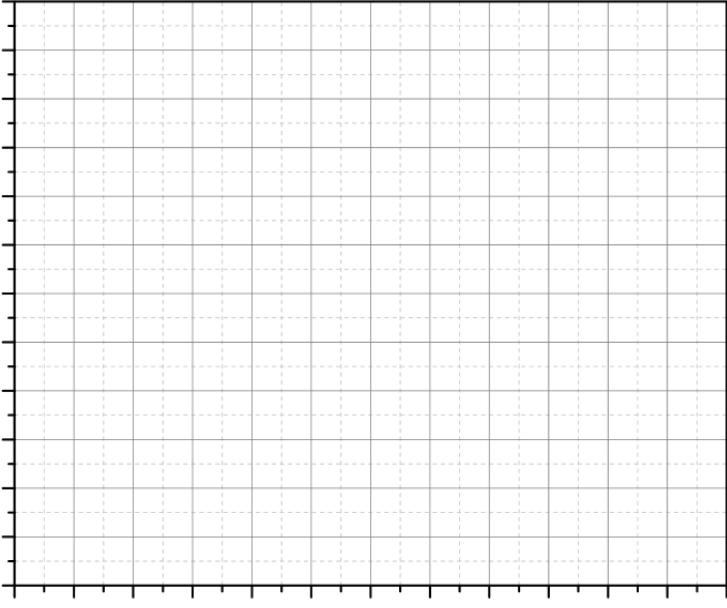
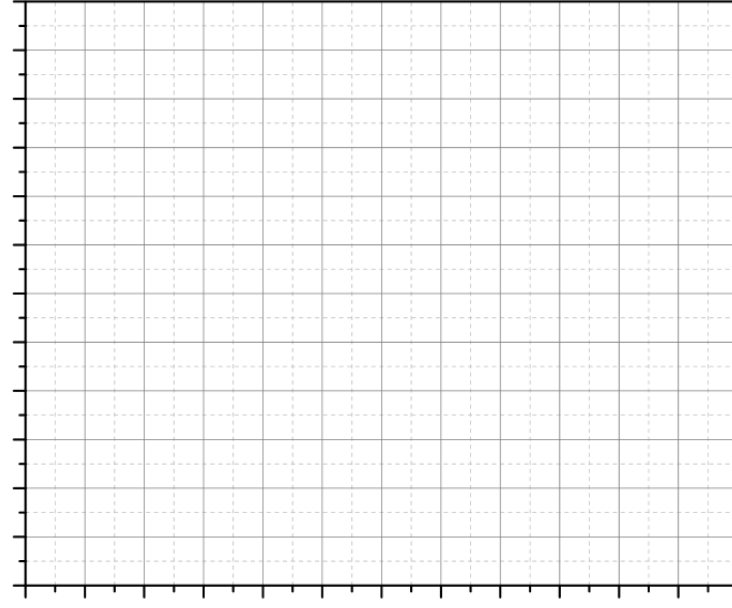
Puterea consumată: $P_1 = \sqrt{3} * U_1 * I_1 * \cos\varphi [W];$

Randamentul generatorului: $\eta = \frac{P_2}{P_1} * 100 [\%];$

În continuare se vor trasa caracteristicile de funcționare pentru motorul asincron:

$\eta[\%]$		$\cos \varphi$	
	P_2 [W]		P_2 [W]
	<i>Fig. 2 – Caracteristica randamentului</i>		<i>Fig. 3 – Caracteristica factorului de putere</i>

s		I_1 [W]	
	P_2 [W]		P_2 [W]
	<i>Fig. 4 – Caracteristica alunecării</i>		<i>Fig. 5 – Caracteristica curentului absorbit</i>

P_1 [W]		n [rot/min]	
	P_2 [W]		M_2 [Nm]
	<i>Fig. 6– Caracteristica puterii absorbite în funcție de puterea debitată</i>		<i>Fig. 7 – Caracteristica mecanică</i>

Laboratorul numărul 4

Pornirea și reglajul turației motorului asincron cu rotor bobinat

Expresia turației mașinii asincrone, dedusă din expresia:

$$n = (1 - s)n_1 = (1 - s)\frac{60f_1}{p}$$

sugerează care sunt modalitățile de modificare a acesteia, anume:

- prin variația alunecării s ,
- prin modificarea numărului de perechi de poli p ,
- prin schimbarea frecvenței de alimentare, f_1 .

În ultimul timp motoarele asincrone cu rotor bobinat se utilizează în general la puteri mari în acționări cu viteză reglabilă în gama:

Pornirea motoarelor asincrone cu rotor bobinat (MAB) se efectuează folosind rezistențe reglabile în circuitul rotoric. Prezența acestor rezistențe creează posibilitatea diminuării curentului absorbit de motor la pornire și menținerea sa la o valoare acceptabilă din punctul de vedere al rețelei.

Reglarea turației prin modificarea alunecării în cazul motorului asincron cu rotor bobinat

La acest tip de motor se poate modifica alunecarea dacă se intervine în circuitul rotoric.

Se poate folosi câte o pereche de contactoare pentru fiecare din treptele de rezistențe de reglare a vitezei – Fig 1.

Alunecarea critică este proporțională cu rezistența rotorică, ceea ce înseamnă că panta caracteristicii $n=f(M)$ pe porțiunea stabilă se modifică o dată cu variația rezistenței raportate . Cuplul critic nu depinde de rezistența rotorică, fapt care determină deplasarea punctului critic Q pe o dreaptă verticală (D) în fig. 1. Pentru o anumită valoare a cuplului, M_N se obțin diverse puncte de funcționare la care corespund turații cu atât mai mici cu cât rezistența rotorică înseriată este mai mare: Caracteristica 0 se numește c.m. naturală iar celelalte, notate cu 1, 2, 3 sunt c.m. artificiale. P.f. nominal N se obține când contactoarele C_0 sunt închise, rezistențele de reglaj fiind scurtcircuitate. Dacă se închid contactoarele C_1 și se deschid C_0 , p.f. trece pe caracteristica artificială 1, din N în N' , viteza scade la același cuplu M_N .

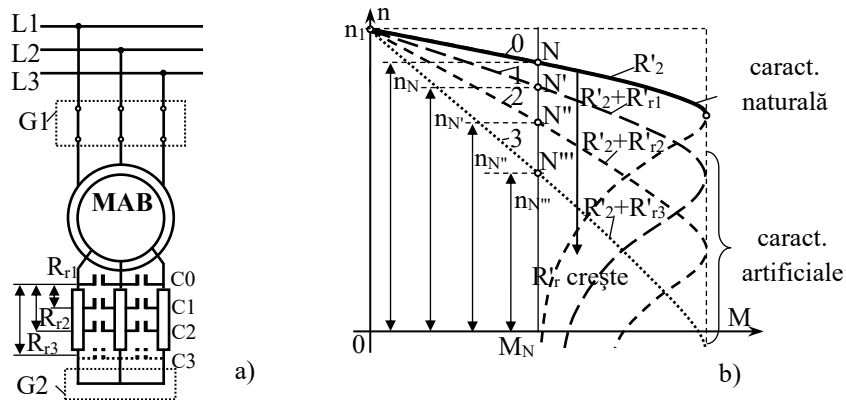


Fig. 1 Reglarea vitezei prin inserierea de rezistențe în circuitul rotoric

Pentru a obține un "reglaj continuu" al vitezei se poate prevedea pe circuitul de alimentare statoric un "gradator" de tensiune alternativă $G1$ compus din 3 triacuri (câte unul pe fiecare fază) la puteri mici sau 3 grupe de câte 2 tiristoare conectate în antiparalel (figura 2), la puteri mari. Prin comanda adecvată a acestor dispozitive se modifică tensiunea aplicată înfășurării, deci se modifică în limite reduse alunecarea sau turația.

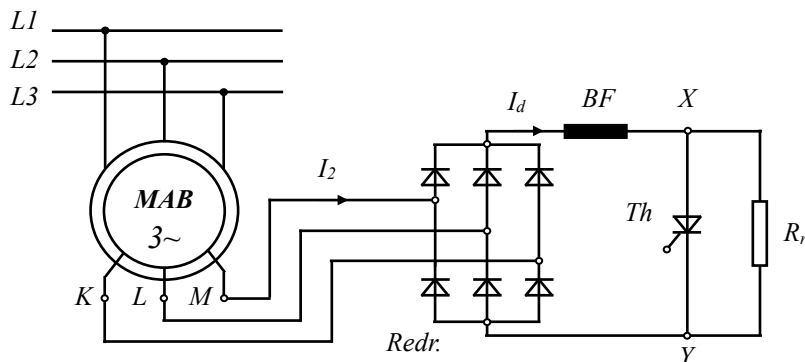


Fig. 2 Reglarea vitezei MAB cu o rezistență în rotor

Metoda are cel puțin două inconveniente:

- nu poate fi considerată o metodă veritabilă de reglare întrucât la sarcini reduse, în apropierea vitezei de sincronism reglajul este ca și inexistent, fiind mai aproape de adevăr formularea: procedeu de variație a scăderii vitezei în sarcină;

- prin creșterea alunecării, pierderile Joule în înfășurări cresc și se diminuează randamentul. De reținut este faptul că aceste pierderi sunt disipate preponderent pe rezistențele inseriate – situate în exteriorul rotorului. Nu trebuie trecut cu vederea și faptul că această metodă se aplică doar la motoarele cu rotor bobinat care au costuri ridicate și fiabilitate redusă.

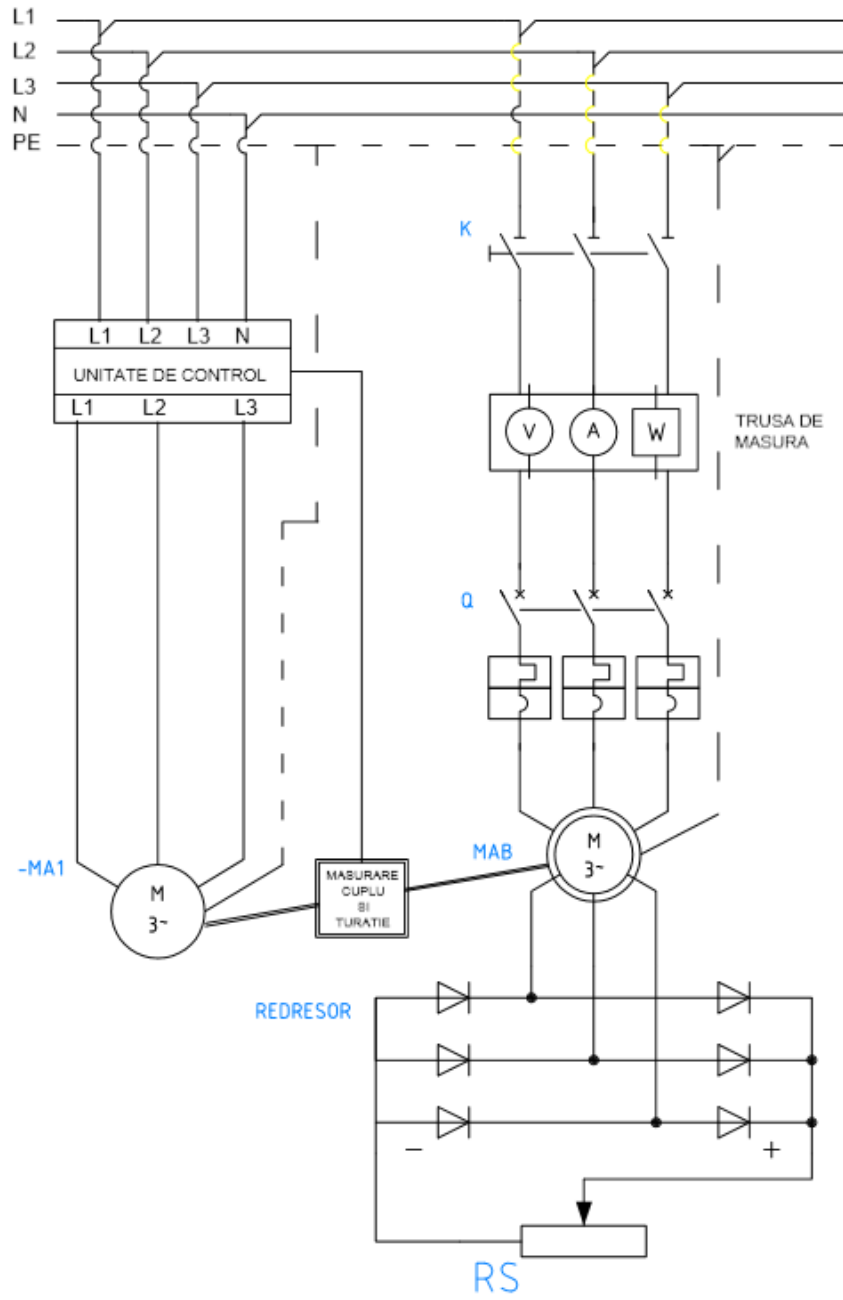


Fig.1 – Schema de încercări a motorului asincron cu rotor bobinat

Descriere standuri experimentale:

	<i>Standul numărul 1. –Lucas-Nulle</i>	<i>Standul numărul 2.- Wuekro</i>
	<i>Unitate de control</i> - $n= 3000$ rot/min; - $M=10$ Nm	<i>Unitate de control</i> - $n= 1500$ rot/min - $M=10$ Nm
<i>MA</i>	<i>Motor de antrenare –</i> <i>Motor asincron alimentat de unitatea de control</i>	<i>Motor de antrenare –</i> <i>Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control</i>
<i>MA2</i>	<i>Motor asincron cu rotor bobinat</i> - $U=400$ VAC; - $P=1,5$ kW; - $n_1= 1500$ rot/min; - $I_1=1,25$ A	<i>Motor asincron cu rotor bobinat</i> - $U=400$ VAC; - $P=1,5$ kW; - $n_1= 1500$ rot/min; - $I_1=1,25$ A
<i>K</i>	<i>Întreprător de sarcină</i>	<i>Întreprător de sarcină</i>
<i>Q</i>	<i>Întreprător magneto-termic</i>	<i>Întreprător magneto-termic</i>
	<i>Trusă de măsură trifazată (V, A și W)</i>	<i>Trusă de măsură trifazată (V, A și W)</i>

Procedeu experimental

Se vor trasa caracteristicile de funcționare ale unui motor asincron trifazat, cu rotor bobinat în cazul variației curentului de pe circuitul rotoric. Acest lucru se realizează prin variația rezistenței R_s din schema de încercări Astfel pentru diverse valori ale rezistenței R_s se va completa tabelul de mai jos.

Încărcarea motorului se face cu ajutorul motorului MA1 de încărcare alimentat prin unitatea de control.

Astfel:

- Se antrenează motorul în gol prin închiderea întreprătorului K ;
- Se poziționează rezistența R_s pe diverse valori: 0, 25, 50, 75 și respectiv 100 % din valoare ei și pentru fiecare valoare se completează tabelul de mai jos:

În tabelul de mai sus:

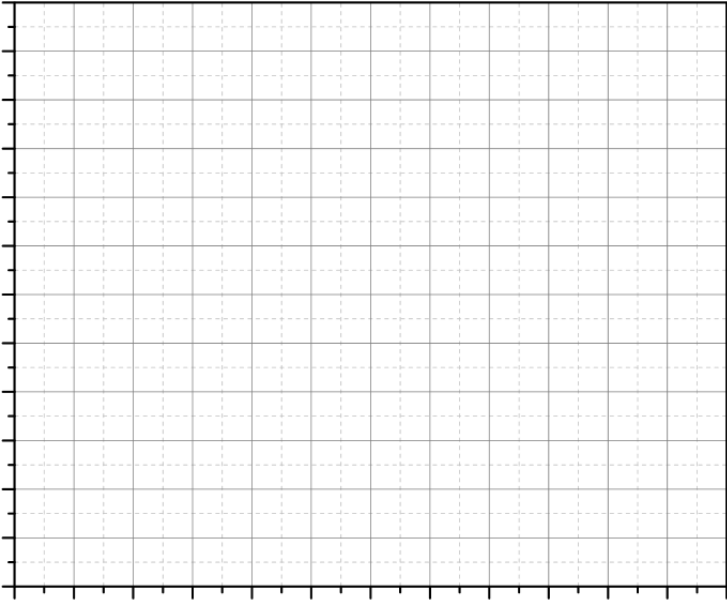
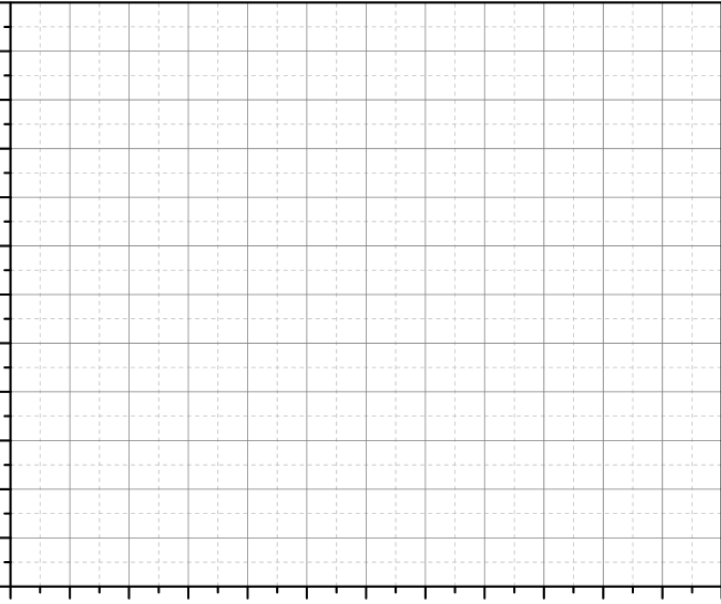
Viteza unghiulară: $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} [\text{rad/sec}];$

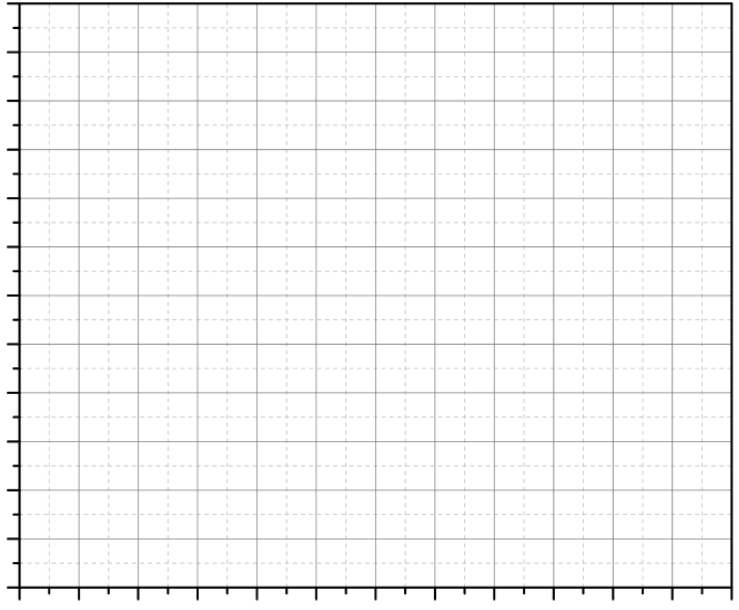
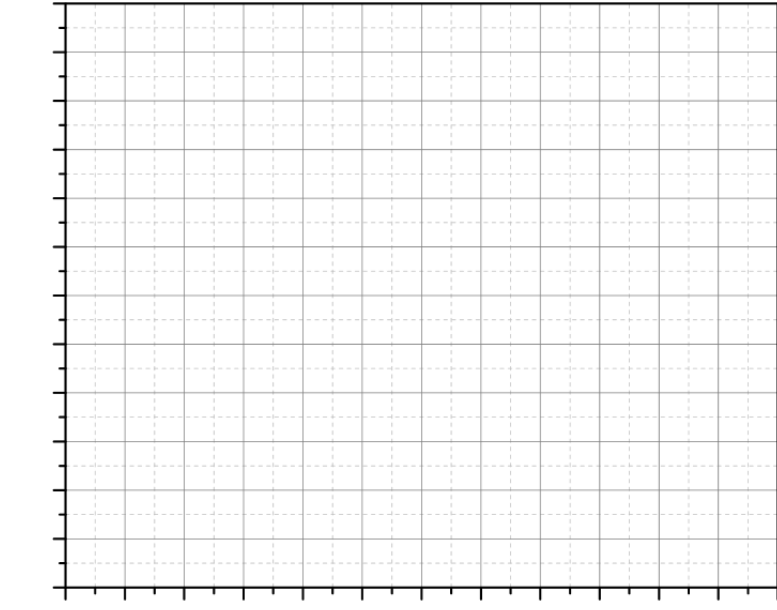
Puterea rezultată la arbore: $P_2 = M_2 \cdot \omega [W];$

Puterea consumată: $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \cos\varphi [W];$

Randamentul generatorului: $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 [\%];$

În continuare se vor trasa caracteristicile de funcționare pentru motorul asincron:

$\eta[\%]$		$\cos \varphi$	
	P_2 [W]		P_2 [W]
	<i>Fig. 2 – Caracteristica randamentului</i>		<i>Fig. 3 – Caracteristica factorului de putere</i>

s		I_1 [W]	
	P_2 [W]		P_2 [W]
	<i>Fig. 4 – Caracteristica alunecării</i>		<i>Fig. 5 – Caracteristica curentului absorbit</i>

P_1 [W]		n [rot/min]	
	P_2 [W]		M_2 [Nm]
	<i>Fig. 6– Caracteristica puterii absorbite în funcție de puterea debitată</i>		<i>Fig. 7 – Caracteristica mecanică</i>

Laboratorul numărul 5

Reglarea turației motorului asincron prin modificarea numărului de perechi de poli

Expresia turației câmpului magnetic învârtitor (turația de sincronism) este:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} [\text{rot/min}]$$

unde:

f₁ - frecvența tensiunii de alimentare;

p - numărul de perechi de poli: p = 1; p = 2; p = 3; p = 4; p = 5, etc

Prin modificarea frecvenței tensiunii de alimentare a mașinii asincrone se poate obține o variație a turației de sincronism și, în funcție de cuplul rezistent, se modifică turația rotorului în scurtcircuit. Acest procedeu, al cărui domeniu de aplicație se lărgeste în ultimul timp, folosește un motor cu construcție simplă de preț redus și robust, dar necesită un convertor și o comandă adecvată. Performanțele convertoarelor statice de frecvență depind de caracteristicile semiconductoarelor pe care le folosesc. Componentele electronice existente pe piață răspund aproape în totalitate nevoilor industriale atât din punct de vedere tehnic cât și din punct de vedere economic. Progresele înregistrate în domeniul microprocesoarelor permit implementarea unor comenzi performante cu costuri reduse.

În raport cu alte soluții tehnice, procedeu variației vitezei motoarelor asincrone cu rotor în colivie asociate cu convertoare de frecvență, prezintă printre altele și avantajele: - ameliorarea exploatării proceselor industriale prin creșterea supleței comenzii motorului de acționare, - optimizarea consumului de energie electrică, - creșterea securității și siguranței acționării.

Pentru obținerea unor tensiuni de valori efective și frecvențe variabile aplicate motorului, pornind de la tensiuni de valori efective și frecvențe constante, furnizate de rețeaua industrială de 50Hz se utilizează fie un convertor direct (sau cicloconvertizor), fie un convertor indirect sub forma unei cascade redresor – invertor. Convertoarele indirecte pot fi invertoare de tensiune sau invertoare de curent. Invertorul sau ondulatorul este un dispozitiv electronic care transformă curentul continuu în curent alternativ de frecvență variabilă. Alegerea unei soluții dintre cele trei enumerate mai sus este dictată de: puterea motorului, plaja de frecvențe ce se cere a fi obținută și existența unor condiții specifice privind reversibilitatea funcționării.

Invertorul de tensiune este indicat pentru asocierea cu motorul asincron, datorită faptului că inductanța motorului se comportă ca un filtru trece – jos, iar curenții au un conținut de armonici inferior celui al tensiunilor furnizate. Cel mai des folosit inverter de tensiune este cel cu modulație în lățime a impulsurilor, MLI, sau PWM (Pulse Width Modulation) care permite modificarea atât a valorii tensiunii cât și a frecvenței de ieșire. Schema de principiu este prezentată în figura 5.46. Se cunosc mai multe procedee de MLI, dintre care se enumeră: modulația sinus – triunghi, modulația vectorială, modulația în delta.

Folosirea inverterului de tensiune pune frecvent și problema reversibilității; dacă motorul asincron funcționează în regim de generator, curentul activ de la intrarea în inverter se inversează, iar circuitul plasat la intrarea în inverter trebuie să fie capabil să permită această circulație inversă.

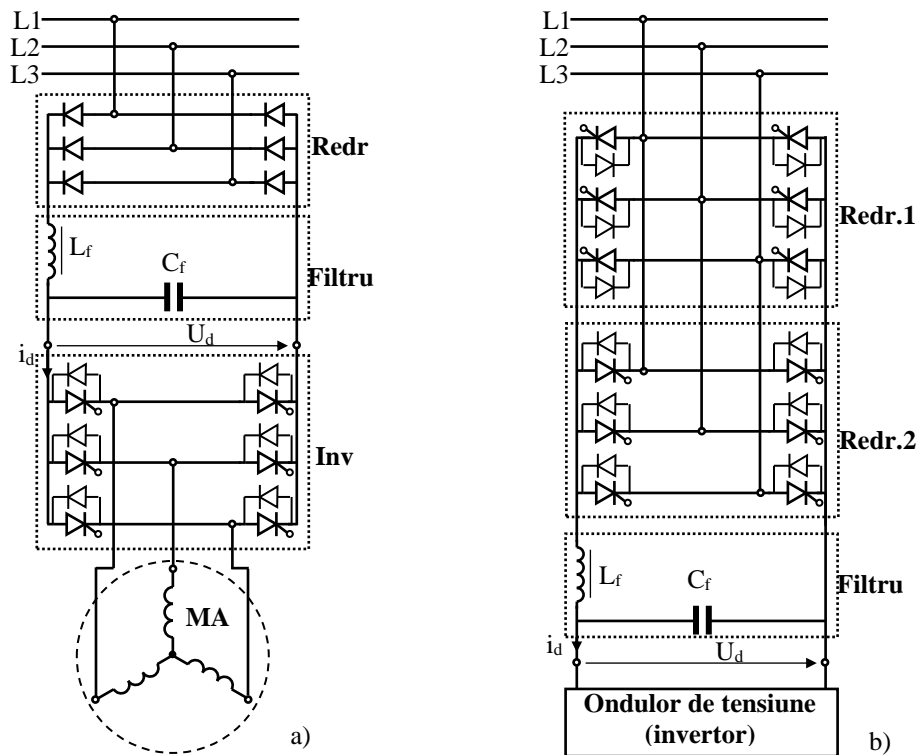


Fig. 1. Invertoare de tensiune: a) ireversibil; b) reversibil

În figura 2. a) se prezintă familia de caracteristici mecanice $n=f(M)$ în mărimi relative, în condițiile variației frecvenței. Caracteristicile s-au trasat pe cât posibil pe porțiunile lor stabile. Pentru $f_1 < f_{1N}$ s-au trasat curbele A, B, C și D în condițiile $U/f = ct$.

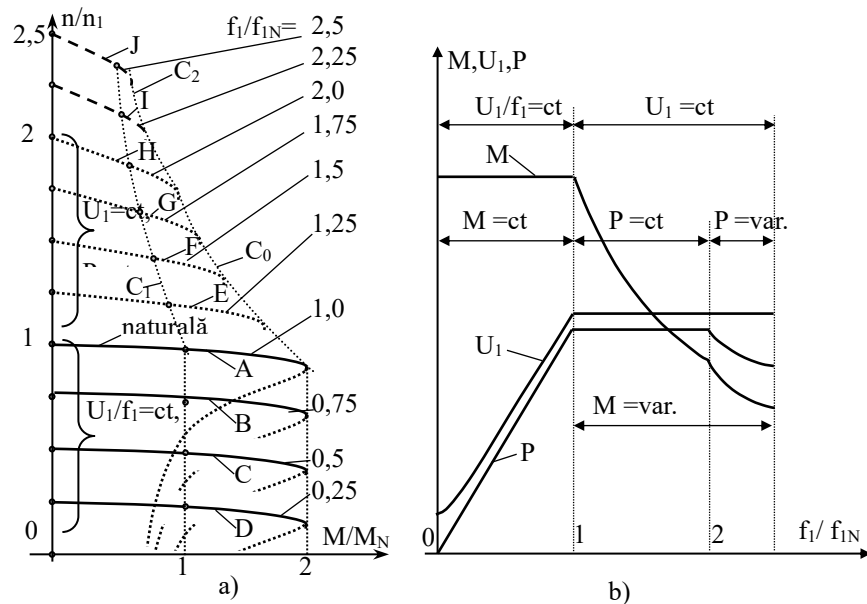


Fig. 2. Caracteristicile motoarelor asincrone la comanda în frecvență

Punctele corespunzătoare cuplului nominal arată că turația se poate modifica din apropierea lui 0 până la n_{IN} , așa cum se petrece și la motorul de c.c. cu excitație separată (derivație). Capacitatea de suprasarcină a motorului este menținută la aceeași valoare, întrucât $M_{cr}/M_N = ct$. Pentru tensiunea U_1 , cuplul M și puterea activă P se prezintă dependențele lor de f_1 , în figura 2. b), - porțiunea de abscise cuprinse între 0 și 1.

Pentru $f_1 > f_{IN}$ se menține $U_1 = ct$. și se crește frecvența peste f_{IN} . Se obțin caracteristicile mecanice E, F, G, H, ale căror valori de cupluri maxime se diminuează o dată cu creșterea frecvenței.

Procedeu experimental

Se vor trasa caracteristicile de funcționare ale unui motor asincron trifazat, cu rotor în scurtcircuit construcție directă, pentru alimentarea acestuia cu tensiune variabilă păstrând constat raportul U/f .

Încărcarea motorului se face cu ajutorul motorului frânei electromagnetice alimentată în curent continuu.

	Standul numărul 1. – WIU
	Unitate de control
	- Frana electromanetică
MA	Motor de antrenare –
	Frana electromagnetica alimentată în current continuu
MA2	Motor asincron cu două viteze

	- $U=42 \text{ VAC}$;
	- $P=0,3 \text{ kW}$;
	- $n_1= 1500/3000 \text{ rot/min}$;
	- $I_1=3 \text{ A}$
K	Întreprător de schimbare a numărului de poli
Q	Întreprător magneto-termic
	Trusă de măsură trifazată (V, A și W)

Astfel:

- Se antrenează motorul în gol prin închiderea întreprătorului K pentru prima viteză;
- Se încarcă în cuplu rezistent motorul prin intermediul potențiometrului de pe unitatea de control a frânei electromagnetice.
- Astfel se completează tabelul de mai jos:

M_2	n	ω	P_1	I_1	U_1	P_2	η	$\cos\phi$
[Nm]	[rot/min]	[rad/sec]	[W]	[A]	[V]	[W]	[%]	

Pentru a doua viteză de sincronism se procedeaza la fel:

Se antrenează motorul în gol prin închiderea întreprătorului K pentru a doua viteză;

- Se încarcă în cuplu rezistent motorul prin intermediul potențiometrului de pe unitatea de control a frânei electromagnetice.
- Astfel se completează tabelul de mai jos:

M_2	n	ω	P_1	I_1	U_1	P_2	η	$\cos\varphi$
[Nm]	[rot/min]	[rad/sec]	[W]	[A]	[V]	[W]	[%]	

În continuare se vor trasa caracteristicile de funcționare pentru motorul asincron pentru cele două viteze de sincronism.

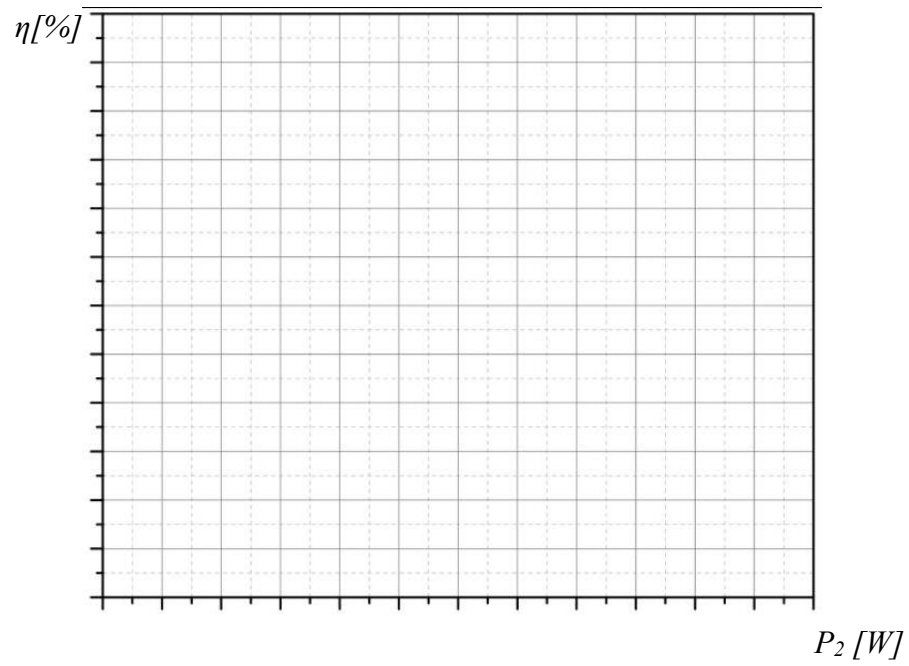


Fig. 5 – Caracteristica randamentului

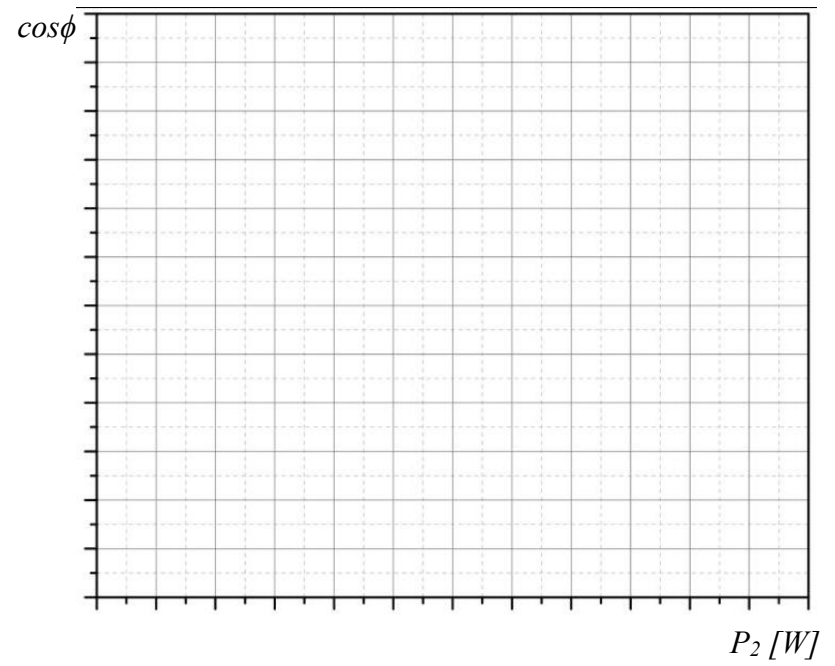


Fig. 6 – Caracteristica factorului de putere

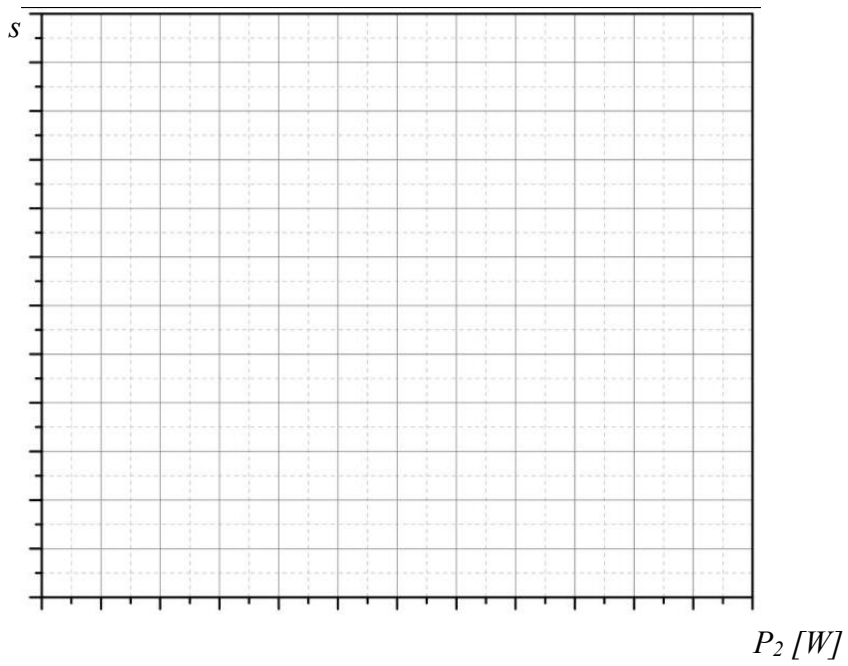


Fig. 7 – Caracteristica alunecării

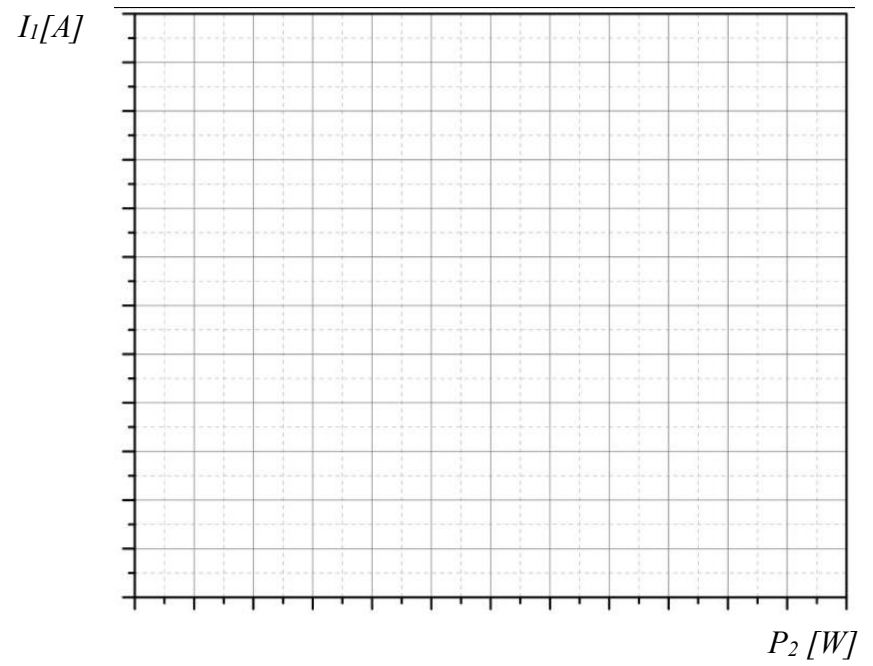


Fig. 8 – Caracteristica curentului absorbit

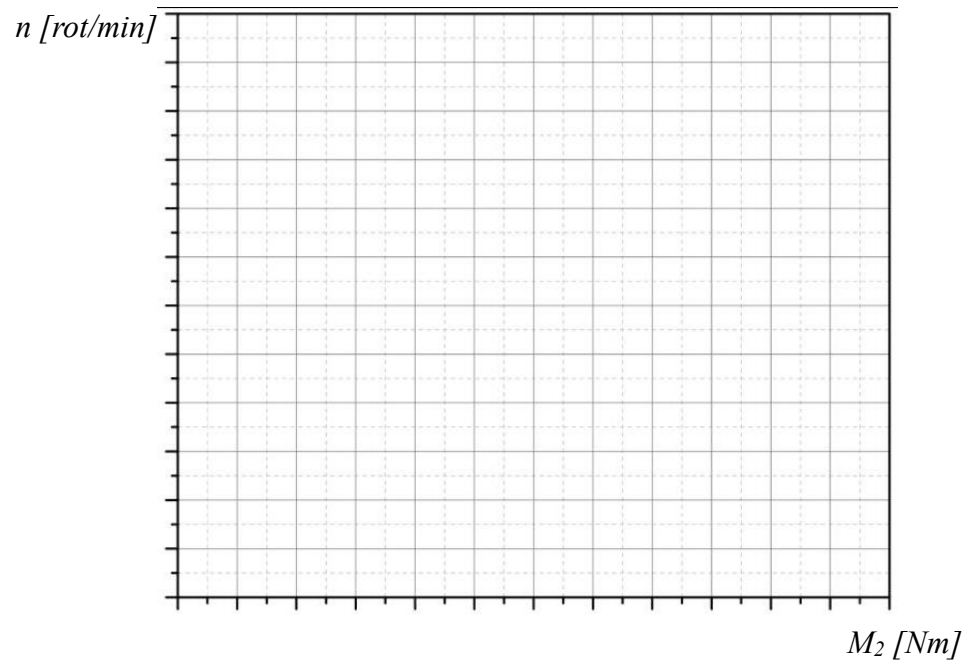


Fig. 9 – Caracteristica mecanică

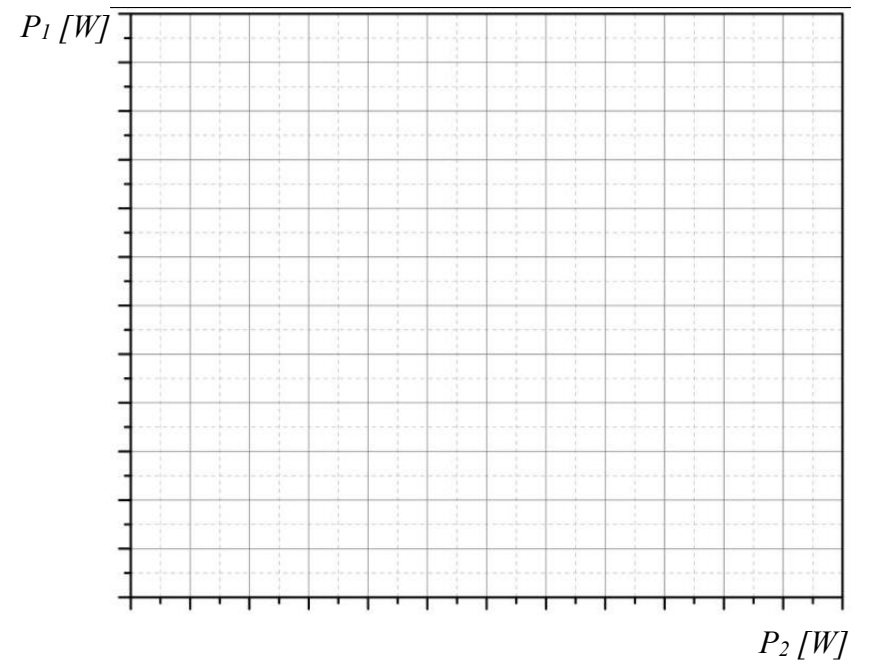


Fig. 10 – Caracteristica puterii absorbite

Laboratorul numărul 6

Reglarea turației motorului asincron prin variația frecvenței de alimentare cu păstrarea raportului U/f constant

Expresia turației câmpului magnetic învârtitor (turația de sincronism) este:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} [\text{rot/min}]$$

unde:

f₁ - frecvența tensiunii de alimentare;

p - numărul de perechi de poli;

Prin modificarea frecvenței tensiunii de alimentare a mașinii asincrone se poate obține o variație a turației de sincronism și, în funcție de cuplul rezistent, se modifică turația rotorului în scurtcircuit. Acest procedeu, al cărui domeniu de aplicație se lărgeste în ultimul timp, folosește un motor cu construcție simplă de preț redus și robust, dar necesită un convertor și o comandă adecvată. Performanțele convertoarelor statice de frecvență depind de caracteristicile semiconductoarelor pe care le folosesc. Componentele electronice existente pe piață răspund aproape în totalitate nevoilor industriale atât din punct de vedere tehnic cât și din punct de vedere economic. Progresele înregistrate în domeniul microprocesoarelor permit implementarea unor comenzi performante cu costuri reduse.

În raport cu alte soluții tehnice, procedeu de variație vitezei motoarelor asincrone cu rotor în colivie asociate cu convertoare de frecvență, prezintă printre altele și avantajele: - ameliorarea exploatării proceselor industriale prin creșterea supleței comenzii motorului de acționare, - optimizarea consumului de energie electrică, - creșterea securității și siguranței acționării.

Pentru obținerea unor tensiuni de valori efective și frecvențe variabile aplicate motorului, pornind de la tensiuni de valori efective și frecvențe constante, furnizate de rețeaua industrială de 50Hz se utilizează fie un convertor direct (sau cicloconvertizor), fie un convertor indirect sub forma unei cascade redresor – invertor. Convertoarele indirecte pot fi invertoare de tensiune sau invertoare de curent. Invertorul sau ondulatorul este un dispozitiv electronic care transformă curentul continuu în curent alternativ de frecvență variabilă. Alegerea unei soluții dintre cele trei enumerate mai sus este dictată de: puterea motorului, plaja de frecvențe ce se cere a fi obținută și existența unor condiții specifice privind reversibilitatea funcționării.

Invertorul de tensiune este indicat pentru asocierea cu motorul asincron, datorită faptului că inductanța motorului se comportă ca un filtru trece – jos, iar curenții au un conținut de armonici inferior celui al tensiunilor furnizate. Cel mai des folosit inverter de tensiune este cel cu modulație în lățime a impulsurilor, MLI, sau PWM (Pulse Width Modulation) care permite modificarea atât a valorii tensiunii cât și a frecvenței de ieșire. Schema de principiu este prezentată în figura 5.46. Se cunosc mai multe procedee de MLI, dintre care se enumeră: modulația sinus – triunghi, modulația vectorială, modulația în delta.

Folosirea inverterului de tensiune pune frecvent și problema reversibilității; dacă motorul asincron funcționează în regim de generator, curentul activ de la intrarea în inverter se inversează, iar circuitul plasat la intrarea în inverter trebuie să fie capabil să permită această circulație inversă.

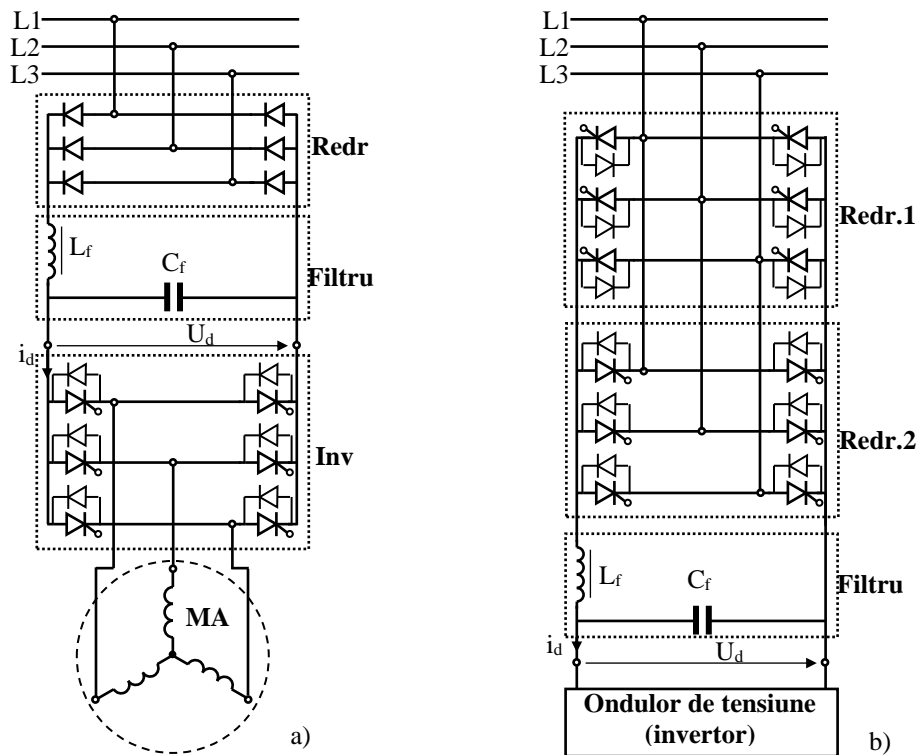


Fig. 1. Invertoare de tensiune: a) ireversibil; b) reversibil

În figura 2. a) se prezintă familia de caracteristici mecanice $n=f(M)$ în mărimi relative, în condițiile variației frecvenței. Caracteristicile s-au trasat pe cât posibil pe porțiunile lor stabile. Pentru $f_1 < f_{1N}$ s-au trasat curbele A, B, C și D în condițiile $U/f = ct$.

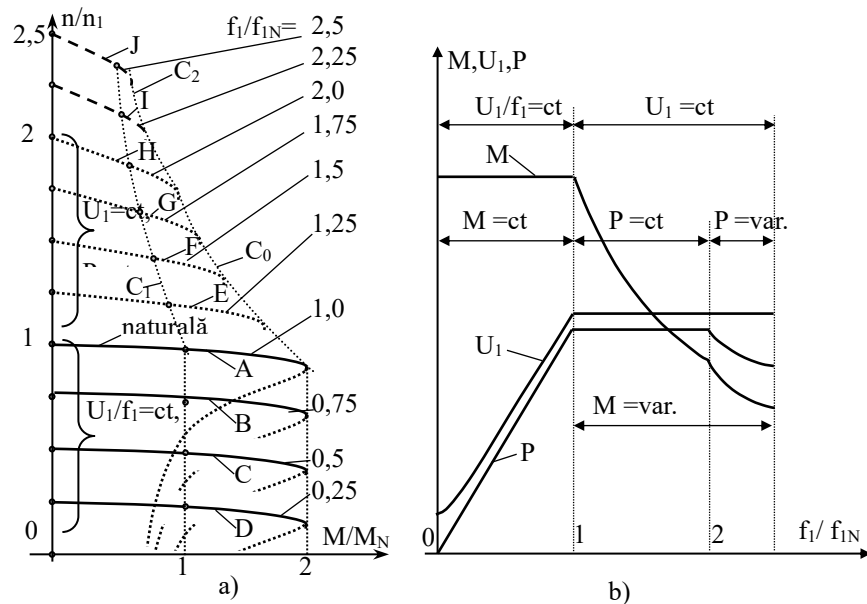


Fig. 2. Caracteristicile motoarelor asincrone la comanda în frecvență

Punctele corespunzătoare cuplului nominal arată că turația se poate modifica din apropierea lui 0 până la n_{IN} , așa cum se petrece și la motorul de c.c. cu excitație separată (derivație). Capacitatea de suprasarcină a motorului este menținută la aceeași valoare, întrucât $M_{cr}/M_N=ct$. Pentru tensiunea U_1 , cuplul M și puterea activă P se prezintă dependențele lor de f_1 , în figura 2. b), - porțiunea de abscise cuprinse între 0 și 1.

Pentru $f_1 > f_{IN}$ se menține $U_1=ct$. și se crește frecvența peste f_{IN} . Se obțin caracteristicile mecanice E, F, G, H, ale căror valori de cupluri maxime se diminuează o dată cu creșterea frecvenței.

Procedeu experimental

Se vor trasa caracteristicile de funcționare ale unui motor asincron trifazat, cu rotor în scurtcircuit construcție directă, pentru alimentarea acestuia cu tensiune variabilă păstrând constanță raportul U/f .

Încărcarea motorului se face cu ajutorul motorului frânei electromagnetice alimentată în curent continuu.

	Standul numărul 1. -Lucas-Nulle	Standul numărul 2.- Wuekro
	Unitate de control - $n= 3000 \text{ rot/min}$; - $M=10 \text{ Nm}$	Unitate de control - $n= 1500 \text{ rot/min}$ - $M=10 \text{ Nm}$
MA	Motor de antrenare – Motor asincron alimentat de unitatea de control	Motor de antrenare – Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control

MA2	<i>Motor asincron</i> - $U=400\text{ VAC}$; - $P=1,5\text{ kW}$; - $n_1=1500\text{ rot/min}$; - $I_1=1,25\text{ A}$	<i>Motor asincron</i> - $U=400\text{ VAC}$; - $P=1,5\text{ kW}$; - $n_1=1500\text{ rot/min}$; - $I_1=1,25\text{ A}$
K	<i>Întreprător de sarcină</i>	<i>Întreprător de sarcină</i>
	<i>Trusă de măsură trifazată (V, A și W)</i>	<i>Trusă de măsură trifazată (V, A și W)</i>
CF	<i>Convertor de frecvență</i>	<i>Convertor de frecvență</i>

Schema de încercări:

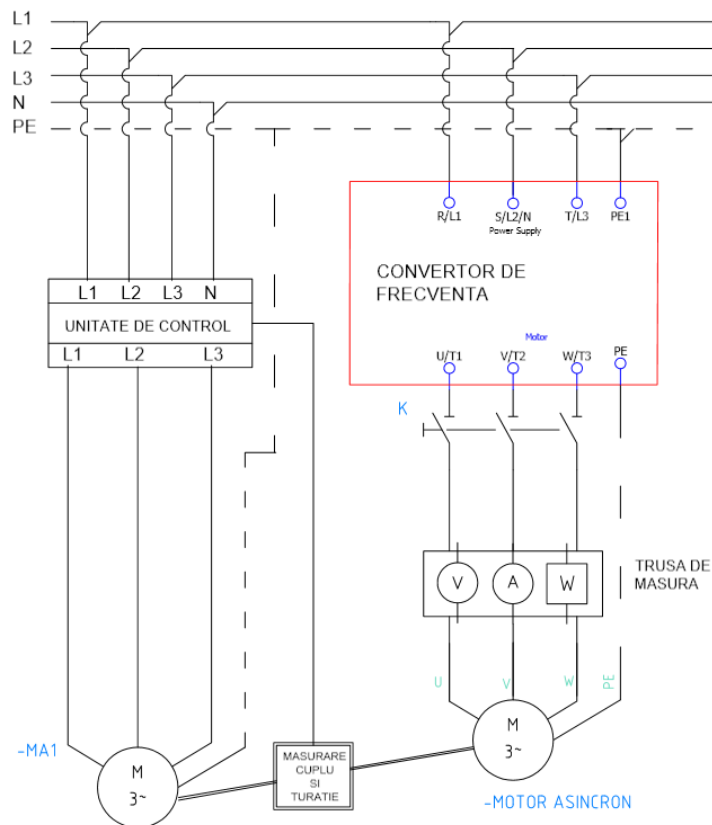


Fig. 3. Schema de încercări pentru variația turației motorului asincron trifazat prin intermediul convertorului de frecvență

Astfel:

- Se antrenează motorul în gol prin închiderea întreprătorului K pentru frecvența $f=50\text{ Hz}$;
- Se încarcă în cuplu rezistent motorul prin intermediul potențiometrului de pe unitatea de control a frânei electromagnetice.
- Astfel se completează tabelul de mai jos:

M_2	n	ω	P_1	I_1	U_1	P_2	η	$\cos\phi$
[Nm]	[rot/min]	[rad/sec]	[W]	[A]	[V]	[W]	[%]	

Pentru alte două valori de frecvență, $f=35$ Hz și $f=20$ Hz, cu păstrarea raportului $U/f=ct$, se procedează la fel:

- Astfel se completează tabelul de mai jos:

M_2	n	ω	P_1	I_1	U_1	P_2	η	$\cos\phi$
[Nm]	[rot/min]	[rad/sec]	[W]	[A]	[V]	[W]	[%]	

În continuare se vor trasa caracteristicile de funcționare pentru motorul asincron pentru cele trei frecvențe de alimentare, după cum urmează:

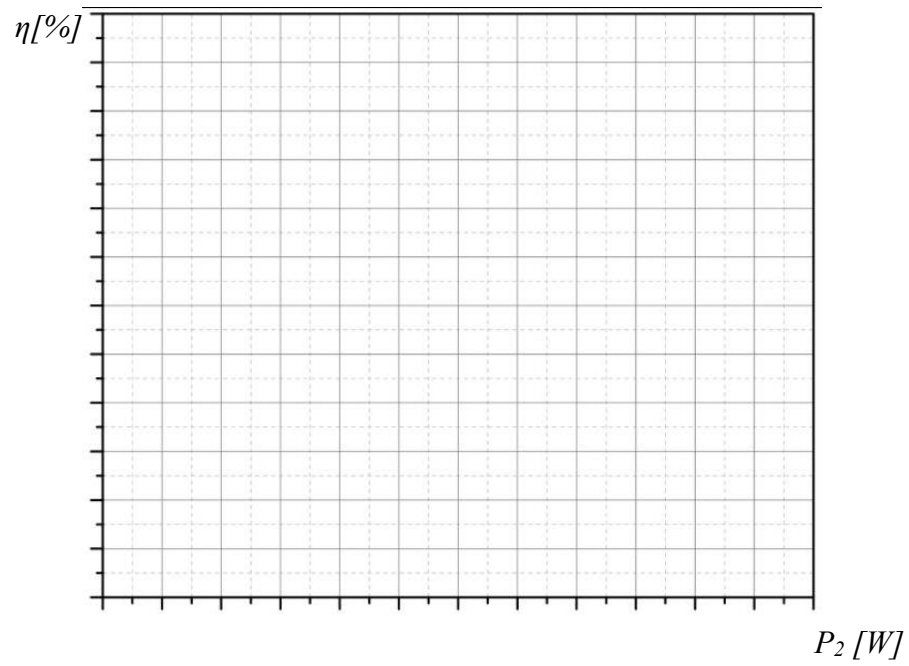


Fig. 4 – Caracteristica randamentului

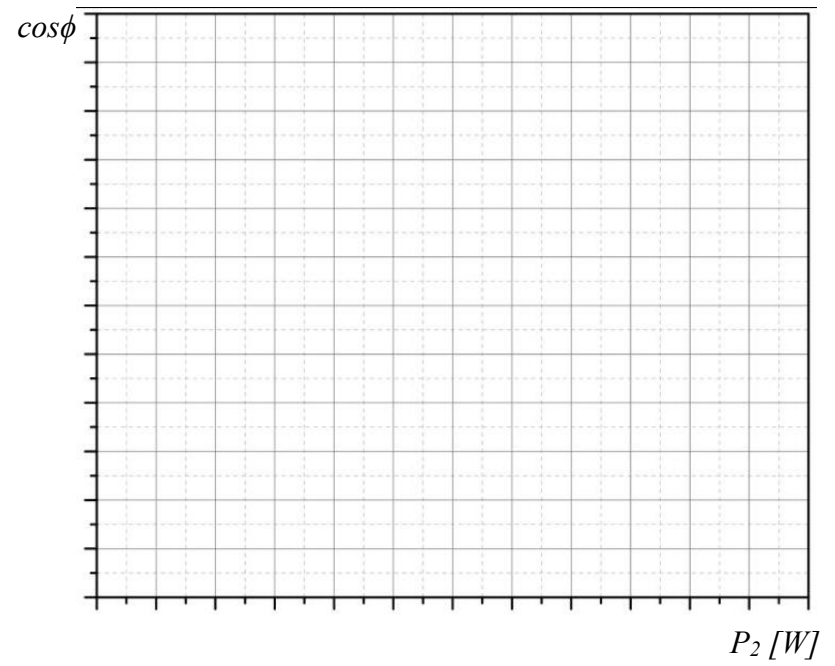


Fig. 5 – Caracteristica factorului de putere

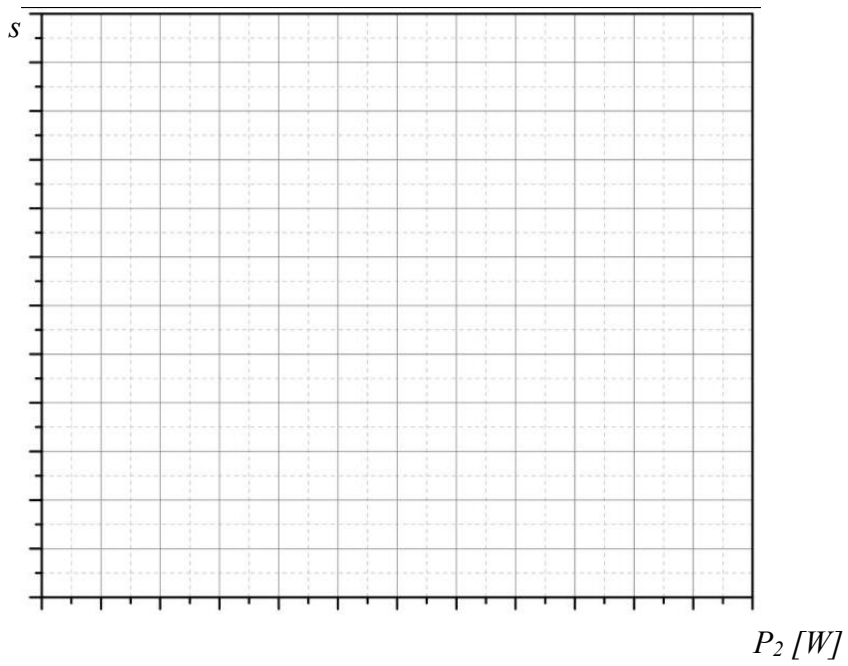


Fig. 6 – Caracteristica alunecării

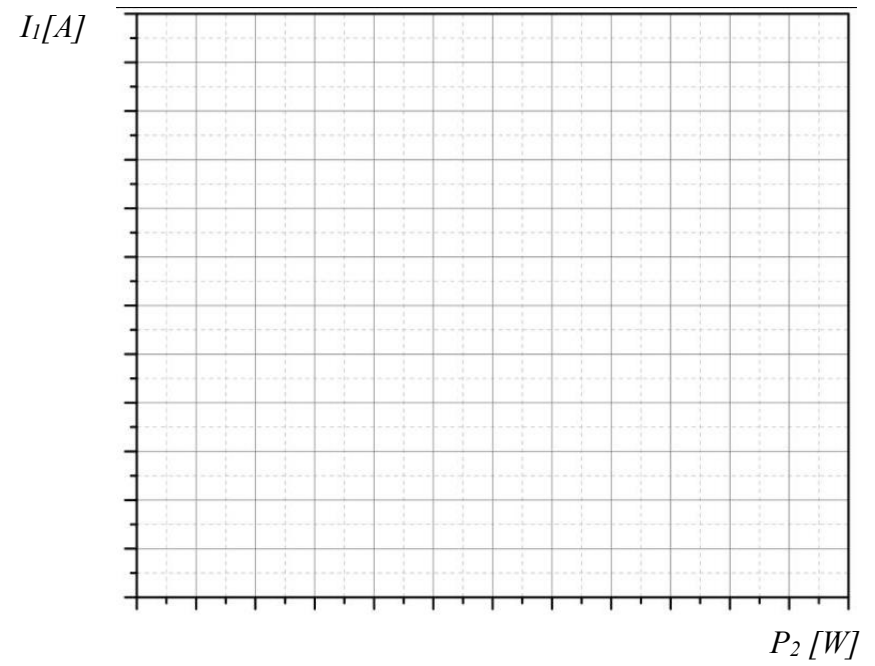


Fig. 7 – Caracteristica curentului absorbit

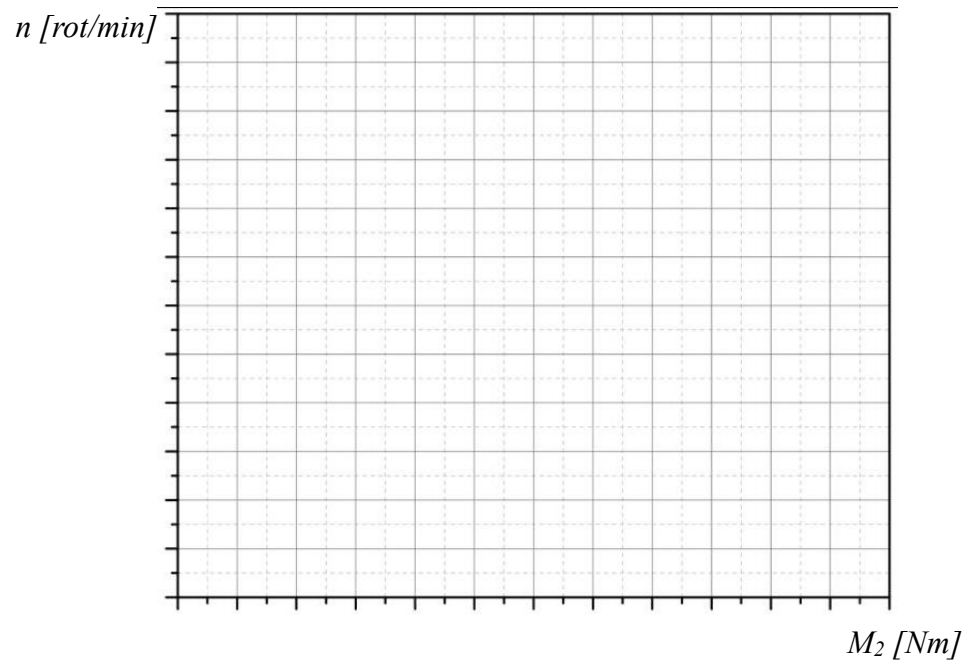


Fig. 8 – Caracteristica mecanică

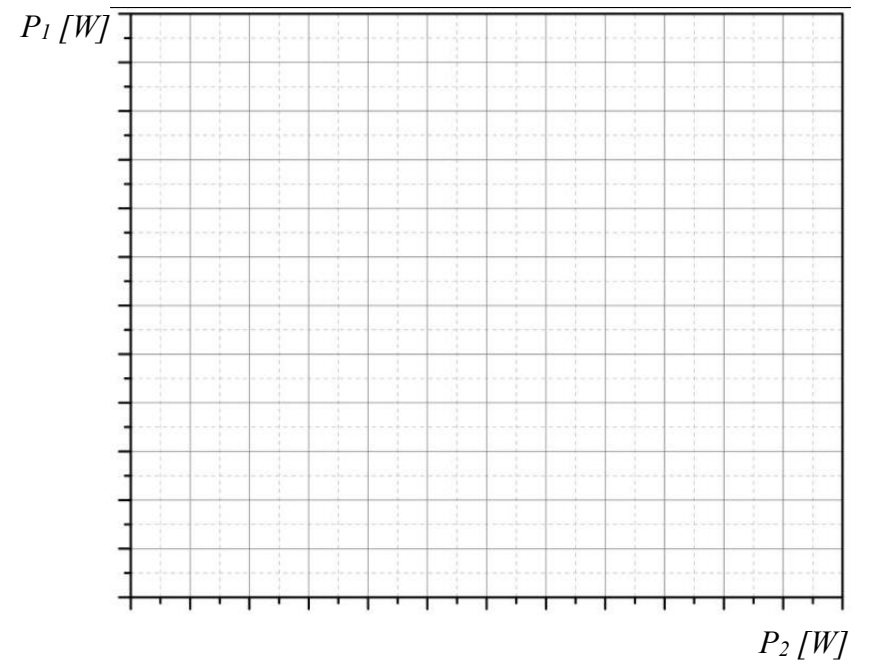


Fig. 9 – Caracteristica puterii absorbite

Laboratorul numărul 7

Motorul asincron monofazat

Accesibilitatea relativ redusă a sistemului trifazat de distribuție pentru aplicațiile uzuale a impus utilizarea mașinilor cu alimentare monofazată. Îndeosebi acționările electromecanice de uz casnic și în general acționările de putere mică (sub 1 kW) folosesc preferențial motoare asincrone monofazate.

Din punct de vedere constructiv motoarele monofazate provin din motoarele trifazate cu rotor în scurtcircuit și au prevăzute pe stator o înfășurare în numai în 2/3 din creștături.

La alimentarea acestei înfășurări cu tensiune alternativă monofazată, în întrefierul mașinii apare un câmp magnetic alternativ (pulsatoriu) a cărui expresie este:

$$H = H_{max} * \sin\omega t * \cos p\alpha$$

Acest câmp conform teoremei lui Leblanc, se descompune în două câmpuri învârtitoare, de sensuri contrare, având amplitudinile pe jumătate din amplitudinea câmpului alternativ:

$$H = \frac{1}{2} * H_m * \sin (\omega t - p\alpha) + \frac{1}{2} * H_m * \sin (\omega t + p\alpha)$$

Câmpul ce se rotește cu viteza unghiulară $\Omega_1 = \omega/p$ se numește câmp direct, iar cel care se rotește cu viteza $\Omega_1 = -\omega/p$ se numește câmp invers.

Cele două câmpuri induc tensiuni în înfășurarea rotorului, tensiuni ce determină apariția unor curenți. Interacțiunea curenților rotorici cu câmpurile învârtitoare din întrefierul mașinii duce la apariția a două cupluri, unul direct și altul invers egale și de sens contrar ce acționează asupra rotorului.

Analizând dependența cuplului în funcție de alunecare se observă următoarele particularități de funcționare ale motorului monofazat:

- *Prezența permanentă a două cupluri, unul direct, având caracter activ, și unul invers cu caracter rezistent. Apariția cuplului invers conduce la scăderea cuplului maxim și deci diminuarea capacității de suprasarcină;*
- *Punctul de funcționare se stabilește la o alunecare mai mare datorită prezenței cuplului invers. Aceasta implică, pe de o parte, o turație mai mică a rotorului, iar pe de alta*

parte, majorarea pierderilor Joule în înfășurările motorului. Drept urmare randamentul motorului monofazat are o valoare mai scăzută.

La pornire ($s=1$), cuplul electromagnetic rezultat M este nul și rotorul nu poate demara. Ca urmare se pune problema adoptării unor procedee specifice pentru pornirea motoarelor asincrone monofazate.

Metodele de pornire cele mai folosite sunt:

- Pornirea prin metoda lansării;
- Pornirea cu ajutorul unei faze auxiliare;
- Pornirea prin folosirea unei spire în scurt circuit.

Pornirea prin metoda lansării

Dacă se aplică axului rotorului un impuls mecanic într-un sens, de exemplu cel direct, atunci valoarea acestui cuplu crește în timp ce valoarea cuplului invers scade. Cuplul rezultat devine nenul și, dacă valoarea lui depășește cuplul rezistent la arbore, rotorul poate accelera, mașina intrând într-un regim de funcționare normal. Fenomenele se petrec identic dacă impulsul mecanic este aplicat în sensul câmpului invers.

Prin urmare, sensul de rotație a motorului monofazat este dat sensul impulsului mecanic aplicat.

Metoda lansării, prezentată mai sus, pentru pornirea motorului monofazat, se folosește pentru pornirea în gol, cuplul exterior aplicat fiind necesar doar pentru acoperirea pierderilor mecanice, relativ reduse. De asemenea, lansarea manuală se poate folosi la motoarele de mică putere.

Pornirea cu fază auxiliară

În creșturile statorice rămase libere se plasează o a doua înfășurare ce constituie faza auxiliară. Dispunerea celor două faze, principală $A-X$ respectiv auxiliară $B-Y$, se face spațial la $\pi/2$.

Dacă prin faza auxiliară $B-Y$ se stabilește un curent defazat în timp cu $\pi/2$ rad față de $A-X$ de curentul prin faza principală, cele două înfășurări determină în întrefier apariția unui câmp magnetic învârtitor. Acest câmp poate fi circular, dacă solenațiile create de cele două înfășurări sunt egale, sau eliptic. Ca urmare, mașina va funcționa ca un motor asincron ce prezintă cuplu la pornire.

Ambele înfășurări, atât cea principală cât și cea auxiliară, se alimentează la aceeași tensiune iar defazarea curenților se realizează plasând pe circuitul fazei auxiliare, ca element defazor, o impedanță Z . Aceasta poate fi un condensator, o bobină sau o rezistență.

Cu cât defazajul curenților prin cele două faze este mai apropiat de $\pi/2$, cu atât câmpul învârtitor din întrefier este mai apropiat de unul circular.

Prezența elementului defazor în circuitul fazei auxiliare impune, de asemenea, și sensul în care se va roti rotorul. Dacă se folosește ca element defazor o rezistență sau o capacitate defazajul dintre cei doi curenți vor impune rotirea rotorului în sensul câmpului direct, iar dacă elementul defazor este o inductanță, rotirea rotorului se face întotdeauna în sensul câmpului invers.

După pornire rolul fazei auxiliare încetează, mașina funcționând ca motor monofazat propriu-zis. De regula faza auxiliară funcționează pe timp scurt, până ce viteza atinge 70-80% din valoarea nominală.

Cel mai utilizat defazor este condensatorul deoarece defazajul creat de acesta conduce la un cuplu crescut de pornire în comparație cu inductanța sau rezistența.

Pentru îmbunătățirea performanțelor motoarelor monofazate se păstrează în serie cu faza auxiliară, în funcționare, condensatorul acesta numindu-se condensator de lucru. Pentru a crește cuplu de pornire, pe durata acestui proces se introduce un alt condensator care se numește condensator de pornire.

Procedeu experimental

Se vor trasa caracteristicile de funcționare ale unui motor monofazat, cu rotor în scurtcircuit construcție directă, în două situații: având sau nu introdusă faza auxiliară în circuit împreună cu condensatorul de pornire.

	<i>Standul numărul 1. –Lucas-Nulle</i>	<i>Standul numărul 2.- Wuekro</i>
	<i>Unitate de control</i> - $n= 3000$ rot/min; - $M=10$ Nm	<i>Unitate de control</i> - $n= 1500$ rot/min - $M=10$ Nm
<i>MA</i>	<i>Motor de antrenare – Motor asincron alimentat de unitatea de control</i>	<i>Motor de antrenare – Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control</i>
<i>MA2</i>	<i>Motor asincron monofazat</i> - $U=230$ VAC; - $P=0,75$ kW; - $n_1= 1500$ rot/min; - $I_1=1,25$ A	<i>Motor asincron monofazat</i> - $U=230$ VAC; - $P=0,75$ kW; - $n_1= 1500$ rot/min; - $I_1=1,25$ A

<i>K</i>	<i>Întreprător de sarcină</i>	<i>Întreprător de sarcină</i>
	<i>Trusă de măsură monofazată (V, A și W)</i>	<i>Trusă de măsură monofazată (V, A și W)</i>
<i>Ka</i>	<i>Întreprător de pornire</i>	<i>Întreprător de pornire</i>

Schema de încercări:

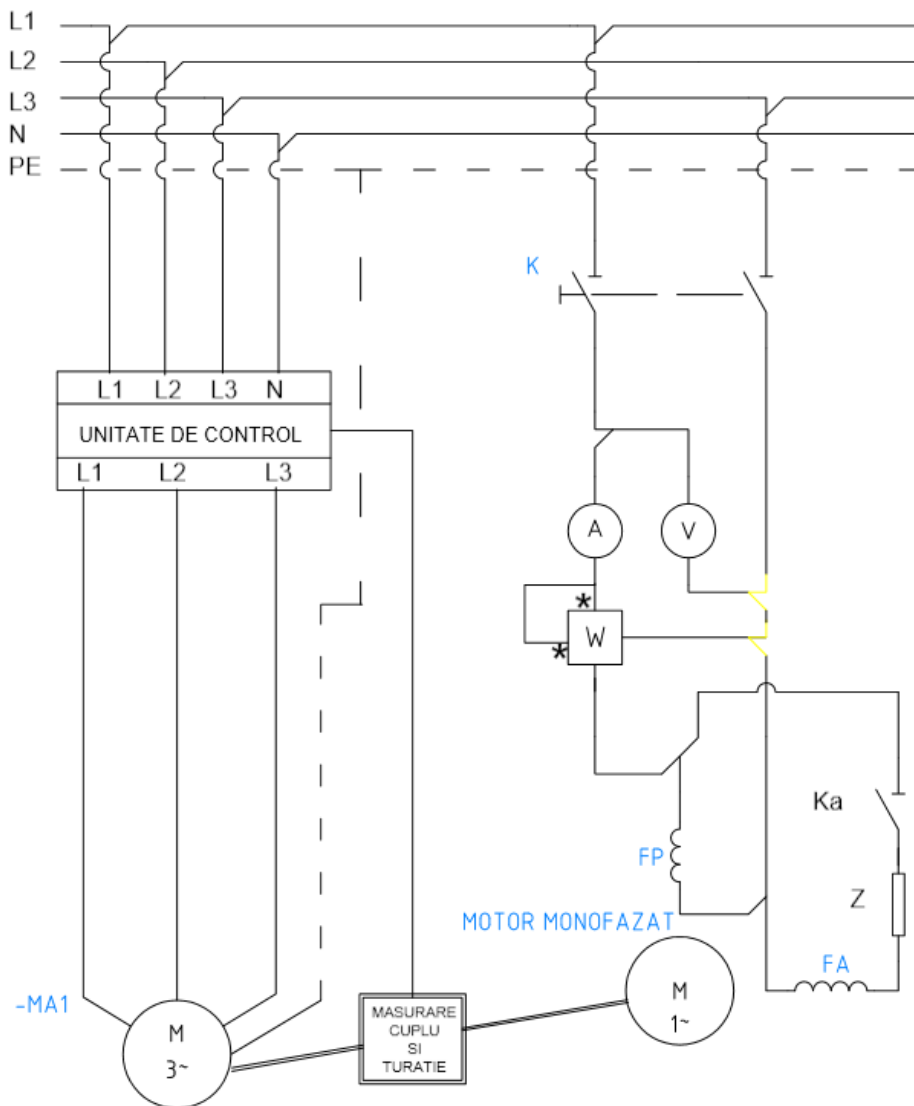


Fig. 1. Schema de încercări pentru motorul asincron monofazat

Faza auxiliară și condensator de lucru

M_2	n	ω	P_1	I_1	U_1	P_2	η	$\cos\varphi$
[Nm]	[rot/min]	[rad/sec]	[W]	[A]	[V]	[W]	[%]	

Fără fază auxiliară

M_2	n	ω	P_1	I_1	U_1	P_2	η	$\cos\varphi$
[Nm]	[rot/min]	[rad/sec]	[W]	[A]	[V]	[W]	[%]	

În continuare se vor trasa caracteristicile de funcționare pentru motorul asincron monofazat pentru cele două situații, după cum urmează:

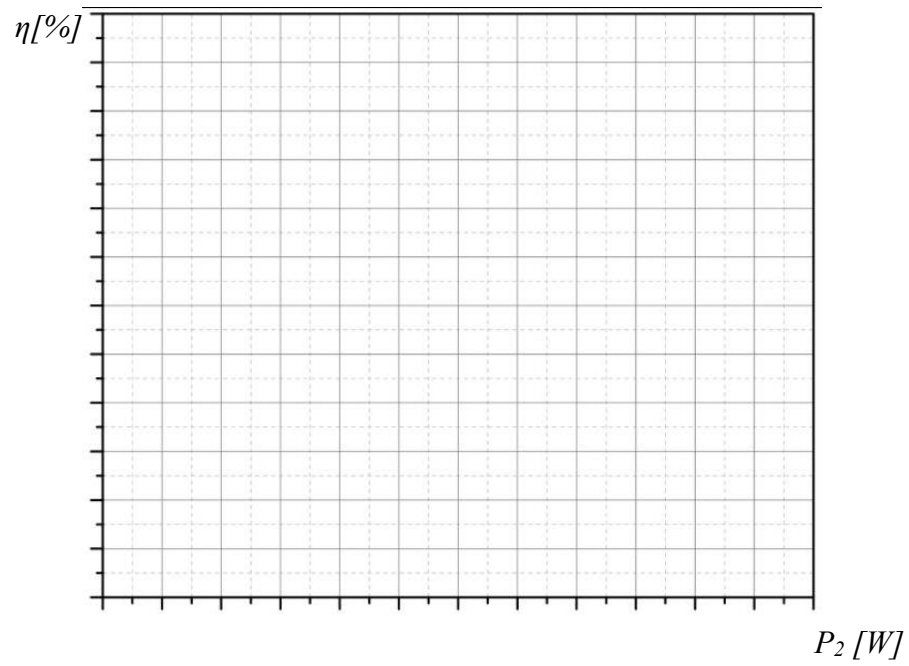


Fig. 2 – Caracteristica randamentului

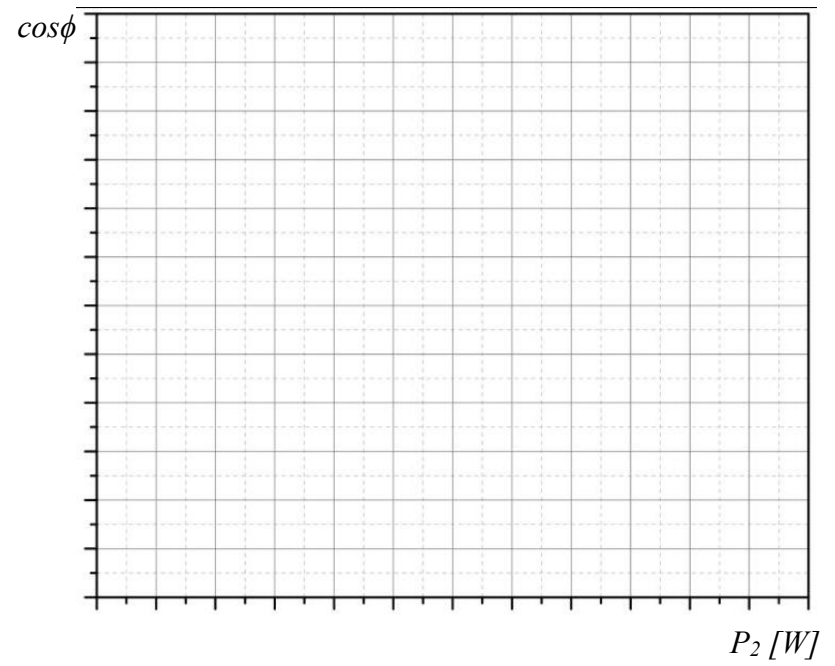


Fig. 3 – Caracteristica factorului de putere

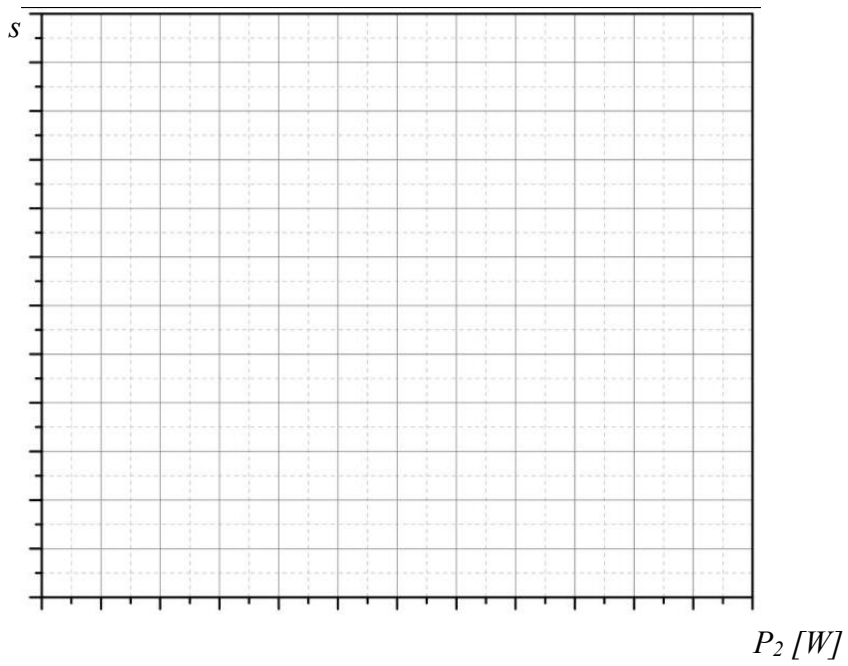


Fig. 4 – Caracteristica alunecării

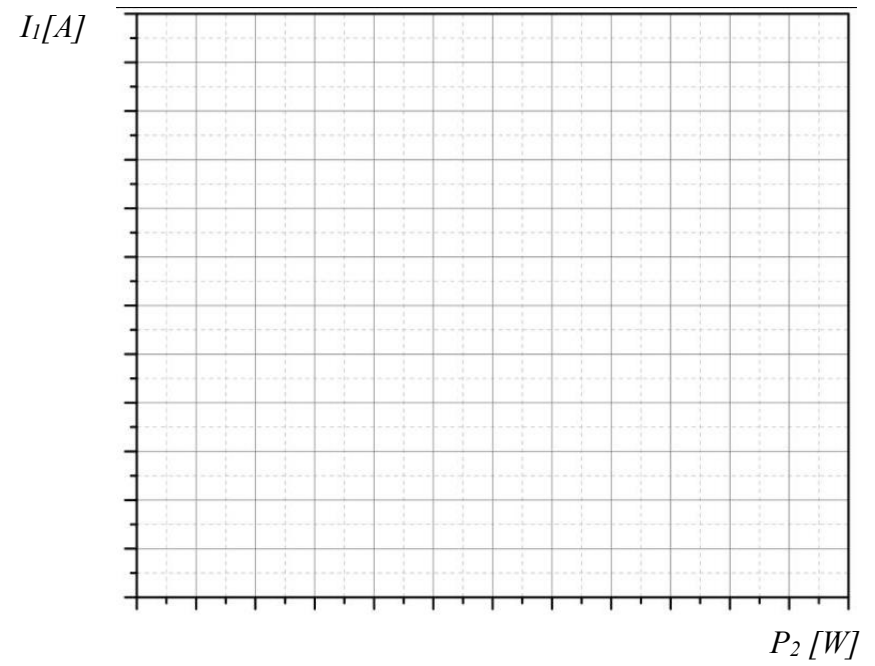


Fig. 5 – Caracteristica curentului absorbit

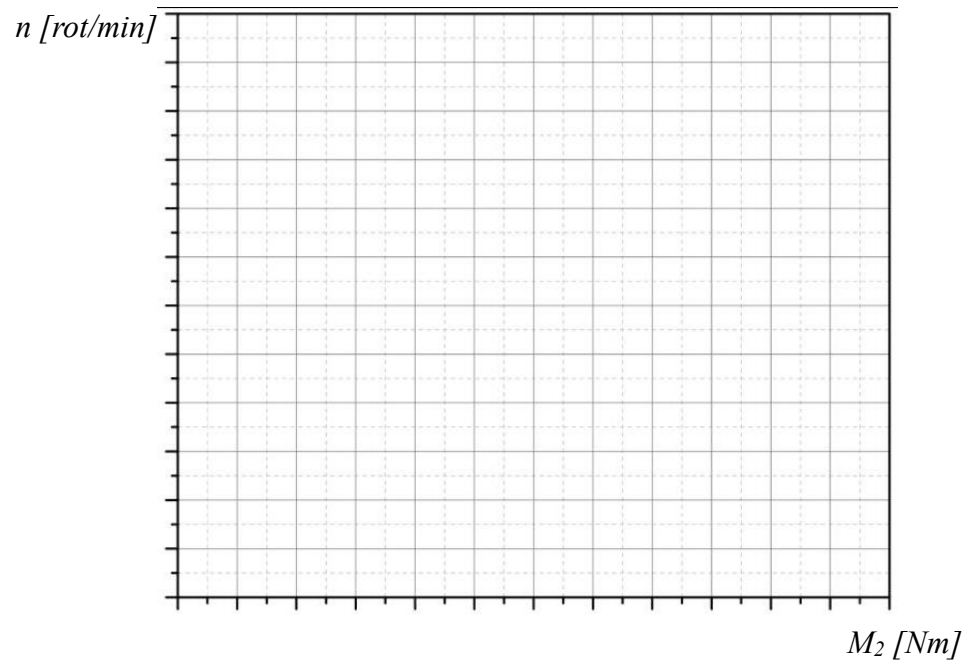


Fig. 6 – Caracteristica mecanică

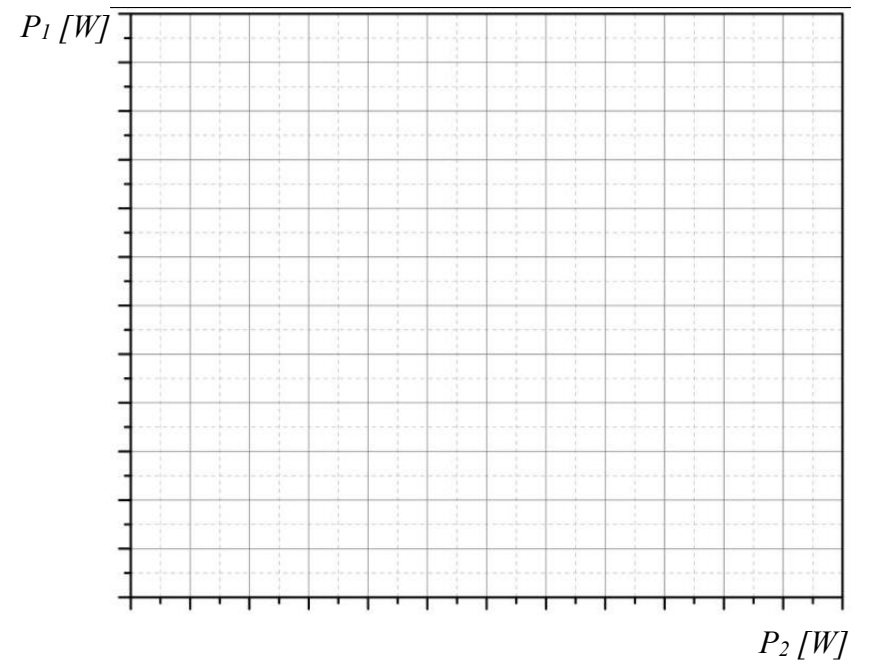


Fig. 7 – Caracteristica puterii absorbite

Laboratorul numărul 8

Generatorul asincron trifazat excitat de la rețea

Funcționarea în regim de generator a mașinii asincrone are loc atunci când rotorul mașinii se rotește în același sens și cu o viteză mai mare decât viteza câmpului magnetic învârtitor rezultat, din întrefier (viteza de sincronism).

Prin urmare:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} < 0$$

deci regimul de generator este caracterizat de alunecarea negativă.

În cazul mașinii asincrone, funcționarea ca generator este posibilă în două situații:

* *satorul generatorului este conectat la o rețea trifazată, situație în care mașina este excitată de la rețea, respectiv furnizează acesteia putere activă;*

* *generatorul funcționează independent, amorsarea având loc ca urmare a existenței unui magnetism remanent. În acest caz, este necesară conectarea în paralel la bornele satorului a unei surse de energie reactivă (de regulă o baterie de condensatoare).*

Generatorul asincron excitat de la rețea

Dacă luăm în considerare o mașină asincronă, conectată la o rețea trifazată, care funcționează în regim de motor cu turația n , turație ce depinde de cuplul rezistent la arbore și care este inferioară turației de sincronism n_1 , energia electrică absorbită de la rețea acoperă pierderile din mașină, iar cea mai mare parte este transformată pe în putere mecanică disponibilă la arborele mașinii. Dacă sarcina la rotor se reduce și mașina funcționează în gol turația se stabilizează la o valoare apropiată de turația de sincronism. Astfel puterea absorbită de la rețea acoperă pierderile din înfășurare și fierul statoric, precum și pierderile mecanice, care au valoare extrem de mică și pot fi neglijate. Acesta este punctul limită de funcționare în regim de motor.

Dacă, în continuare, rotorul mașinii asincrone este antrenat o mașină de antrenare până la turația de sincronism, deoarece turațiile rotorului și ale câmpului magnetic învârtitor, întrefier coincid, viteza relativă dintre ele este zero și drept urmare tensiunea electromotoare indusă în înfășurarea rotorica este nulă iar mașina asincronă nu mai dezvoltă nici un cuplu. Pentru acest

punct de funcționare necesarul de cuplu pentru acoperirea pierderilor mecanice este preluat de la mașina de antrenare, iar pentru acoperirea pierderilor de natură electrică mașina absoarbe de la rețea o putere activă.

Dacă în continuare turația rotorului crește peste turația de sincronism n_1 , apare din nou o viteză relativă între înfășurarea rotorică și câmpul învârtitor din întrefier și prin urmare se induce tensiune în înfășurarea rotorică. Deoarece alunecarea devine negativă ($n > n_1$) cuplul electromagnetic dezvoltat de mașină:

$$M_e = \frac{E_1 I_1 \cos(\angle E_1, I_1)}{s \Omega_1}$$

unde:

E_2 - tensiunea indusă în înfășurarea rotorică;

I_2 - curentul prin înfășurarea rotorică devine, de asemenea, negativ.

Deci cuplul electromagnetic dezvoltat de mașina asincronă pentru $\Omega > \Omega_1$ devine un cuplu rezistent, pentru mașina de antrenare. Puterea mașinii de antrenare acoperă pierderile de natură mecanică și pierderile în înfășurări și cedează putere electrică rețelei electrice la care este conectată. Această putere activă, cedată rețelei, este mai mare este cu cât turația rotorului este mai mare. Trebuie însă subliniat ca indiferent de valoarea turației, frecvența curentului debitat și tensiunea la bornele lui rămân constante.

La funcționarea în regim de generator mașina asincronă continuă să absoarbă energie reactivă de la rețea, necesară magnetizării circuitului magnetic respectiv, creării câmpului magnetic învârtitor. Curentul de magnetizare -curentul reactiv- are o valoare importantă reprezentând circa 25-50% din curentul nominal statoric.

Procedeu experimental

Stand experimental pentru încercarea mașinii asincrone în regim de generator:

	<i>Standul numărul 1. –Lucas-Nulle</i>	<i>Standul numărul 2.- Wuekro</i>
	<i>Unitate de control</i> - $n= 3000$ rot/min; - $M=10$ Nm	<i>Unitate de control</i> - $n= 1500$ rot/min - $M=10$ Nm
<i>MA</i>	<i>Motor de antrenare –</i> <i>Motor asincron alimentat de unitatea de control</i>	<i>Motor de antrenare –</i> <i>Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control</i>
<i>MA2</i>	<i>Motor asincron trifazat în scurtcircuit</i> - $U=400$ VAC; - $P=1,5$ kW; - $n_1= 1500$ rot/min; - $I_1=1,25$ A	<i>Motor asincron trifazat cu rotor bobinat</i> - $U=400$ VAC; - $P=1,5$ kW; - $n_1= 1500$ rot/min; - $I_1=1,6$ A
<i>K</i>	<i>Întreprupător de sarcină</i>	<i>Întreprupător de sarcină</i>
	<i>Trusă de măsură monofazată (V, A și W)</i>	<i>Trusă de măsură monofazată (V, A și W)</i>
<i>Ka</i>	<i>Întreprupător de pornire</i>	<i>Întreprupător de pornire</i>

Se procedează după cum urmează:

1. *Se realizează schema de montaj din figura 1, aparatele calculându-se conform datelor de pe plăcuțele indicatoare ale mașinilor. Trusa wattmetrică pentru măsurarea puterii cedate de generatorul asincron către rețea se montează invers decât de obicei: intrările către mașina asincronă și ieșirile către rețea.*

2. *Se pornește în regim de motor generatorul asincron, acesta fiind alimentat de rețeaua trifazată. Deoarece viteza grupului este inferioară turației de sincronism mașina asincronă funcționează ca motor, lucru pus în evidență de deviația inversă a wattmetrului.*

3. *După ce mașina a ajuns la viteza de mers în gol, din sistemul de control al mașinii de antrenare se crește turația peste turația de sincronism. La depășirea turației de sincronism mașina asincronă trece în regim de generator furnizând rețelei putere activă.*

4. *Pentru diverse viteze se vor citi valorile indicate de aparatele de măsură de pe trusa wattmetrică și se va completa următorul tabel:*

Schema de încercări:

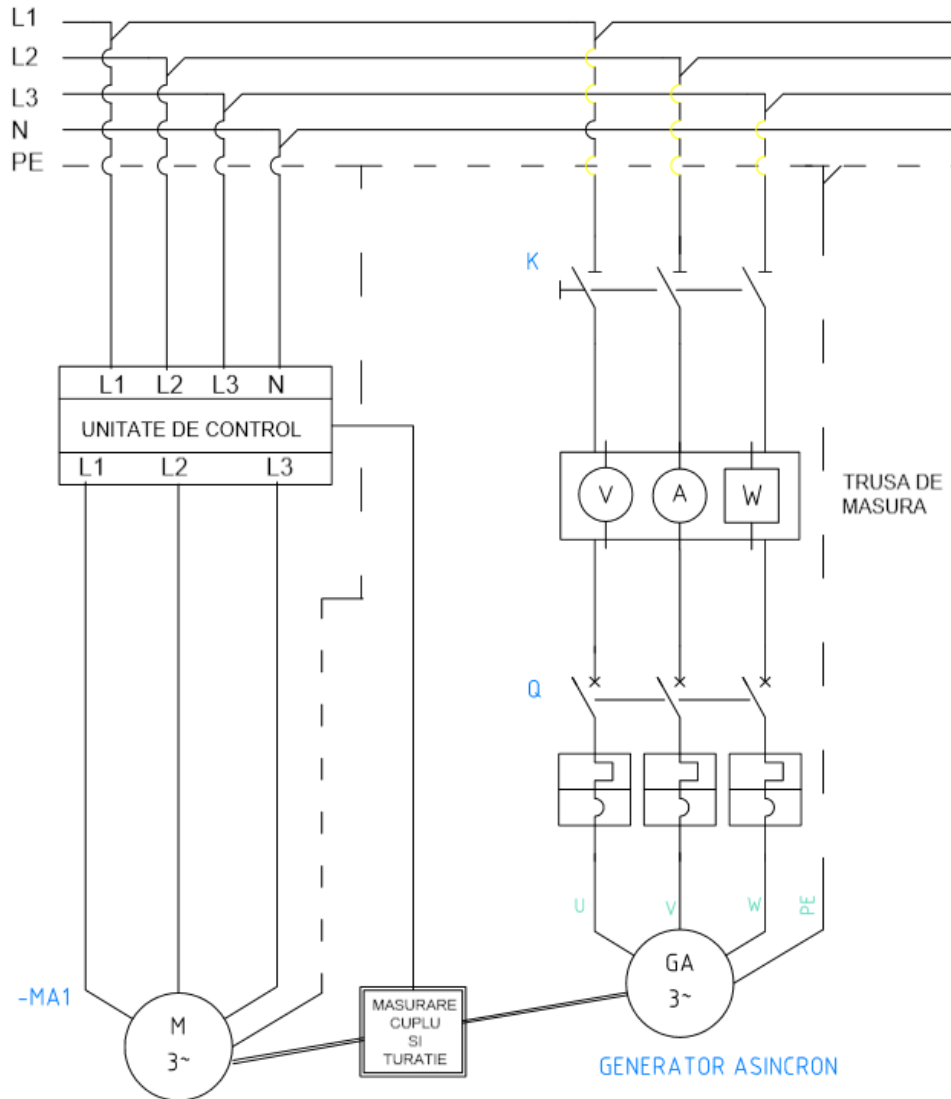


Fig. 1. Schema de încercări pentru mașina asincronă în regim de generator

Se vor trasa următoarele curbe:

- $P_2 = f(n)$. Această caracteristică pune în evidență creșterea puterii furnizate rețelei odată cu creșterea turației.
- $I = f(n)$ Arată modificarea curentului la variația vitezei.
- $\cos \varphi = f(n)$. Indică modificarea valorii factorului de putere odată cu încărcarea mașinii.
- $I_r/I = f(P)$. Indică ponderea curentului reactiv absorbit de la rețea în curentul total din înfășurarea statorică, funcție de încărcarea mașinii.

e) $I_a = f(I_r)$ Prezintă interdependența dintre cei doi curenți-activ debitat, respectiv reactiv absorbit.

M_1	n	ω	P_2	I_2	U_1	P_1	η	$\cos\phi$	I_r
[Nm]	[rot/min]	[rad/sec]	[W]	[A]	[V]	[W]	[%]		[A]

$$\cos\phi = \frac{P_2}{\sqrt{3} * U_2 * I_2}$$

$$s = \frac{(n_1 - n)}{n_1}$$

$$I_a = I_2 * \cos\phi$$

$$I_r = I_2 * \sin\phi$$

În continuare se vor trasa caracteristicile de funcționare pentru generatorul asincron trifazat excitat de la rețea, după cum urmează:

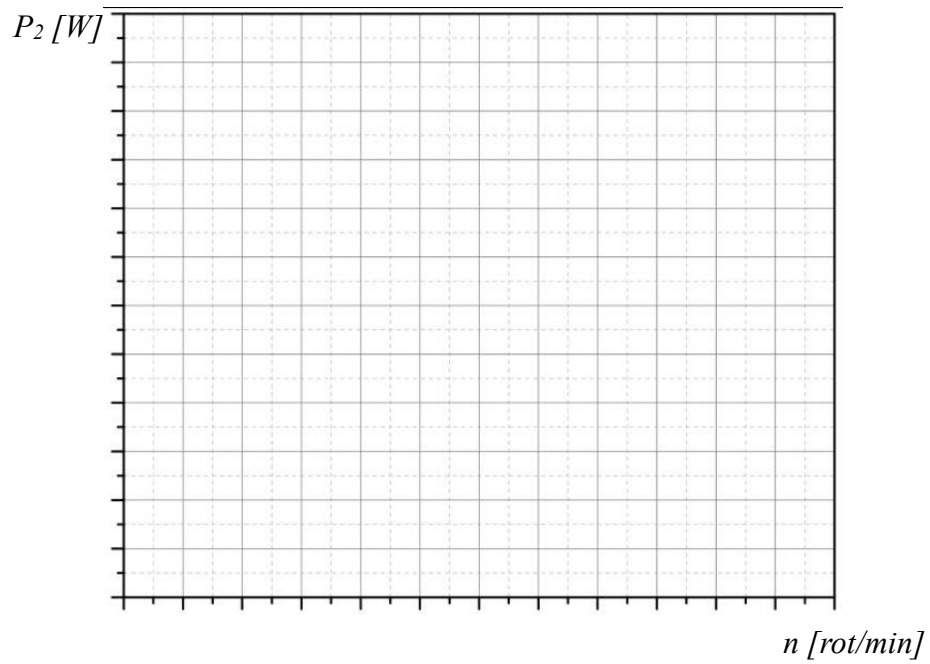


Fig. 2 – Caracteristica puterii debitate

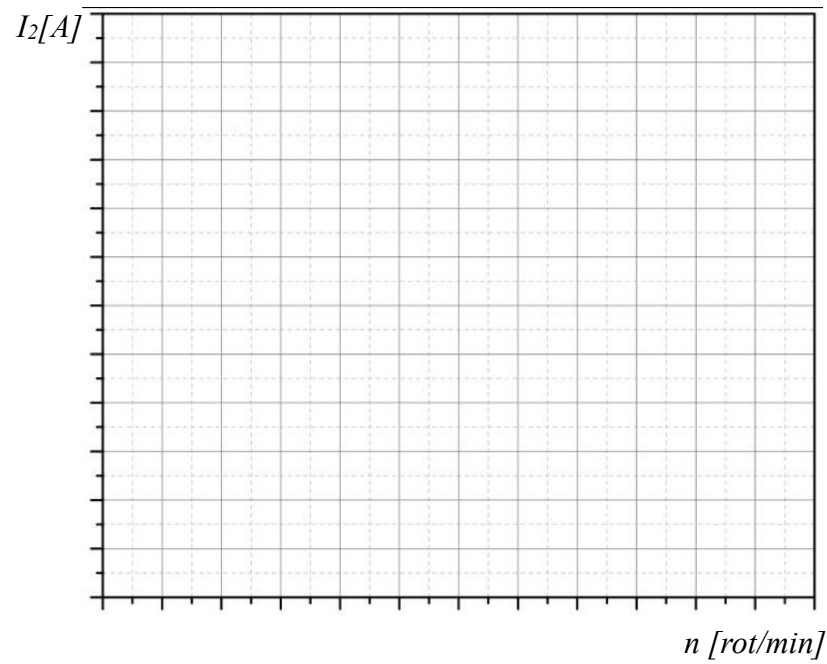


Fig. 3 – Caracteristica curentului debitat

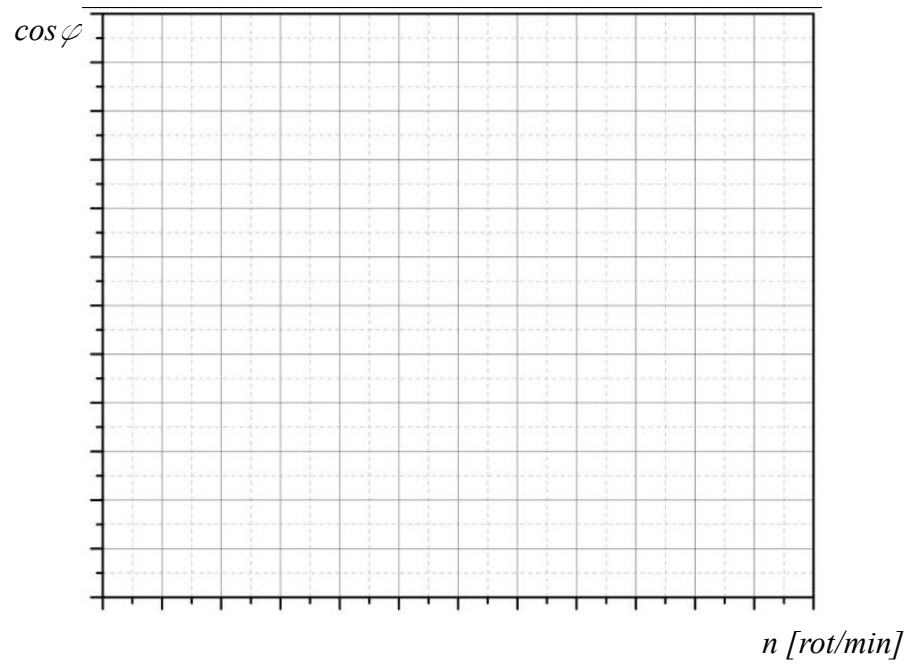


Fig. 4 – Caracteristica factorului de putere

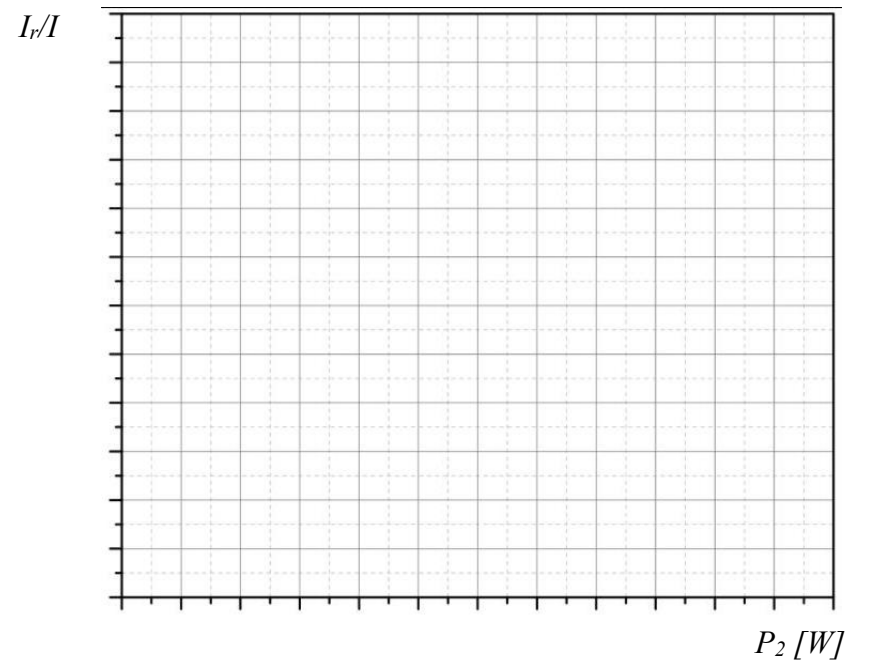


Fig. 5 – Ponderea curentului reactiv

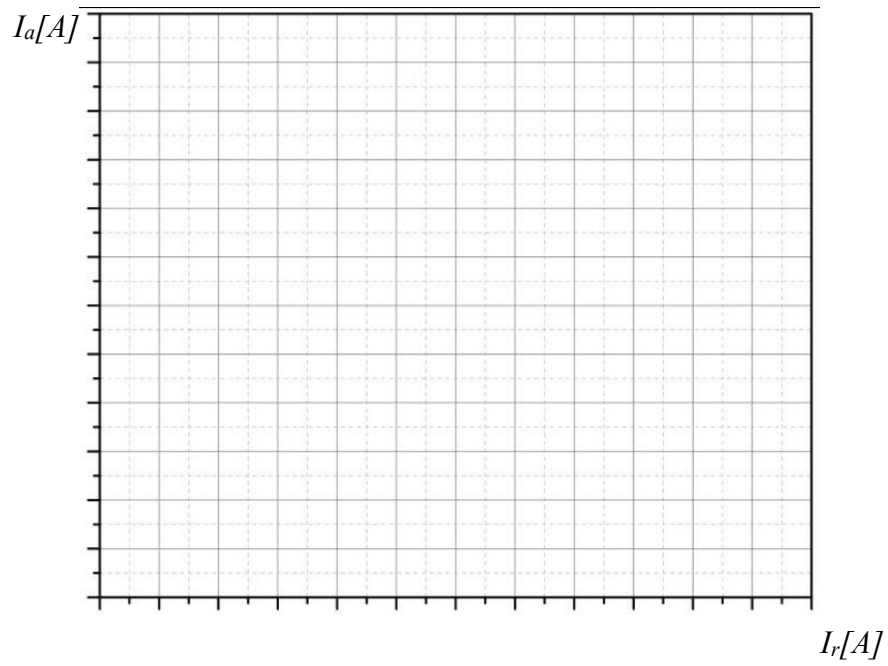


Fig. 6 – Curentul activ în funcție de curentul reactiv absorbit

Laboratorul numărul 9

Mașina sincronă - Considerații generale

Mașina sincronă este o mașină de curent alternativ compusă dintr-un stator și un rotor, turația rotorului fiind riguros dictată de frecvența rețelei electrice la care este conectată mașina.

Mașina sincronă trifazată prezintă unele particularități referitoare la câmpurile magnetice principale, de excitație și de reacție.

În mașina sincronă câmpul magnetic inductor, sau de excitație este produs de o coroană de poli excitați în curent continuu. Privit din punct de vedere al fenomenului inducției electromagnetice, rolul de indus sau inductor poate fi preluat în egală măsură de rotor sau de stator.

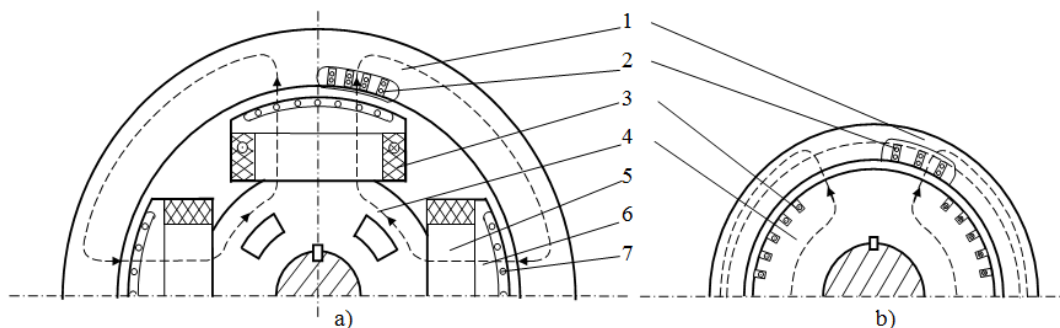


Fig. 1. Elemente constructive de bază ale mașinilor sincrone:

a) cu poli aparenti, b) cu poli înecați.

1. Jug statoric, 2. Înfășurare statorică (indusă),
3. Înfășurare rotorică (inductoare), 4. Jug rotoric,
5. Pol rotoric, 6. Piesă polară, 7. Înfășurare de amortizare

În majoritatea cazurilor, la mașina sincronă în construcție normală statorul reprezintă indusul, iar rotorul inductorul. Acest lucru este justificat de următoarele motive:

- *curentul relativ redus necesar excitației va trece mai ușor prin contactele alunecătoare (perii fixe - inele de contact) decât curentul relativ mare al indusului. Curentul de excitație este adus la contactele alunecătoare la tensiuni ce nu depășesc câteva sute de volți;*
- *tensiunile indusului sunt relativ ridicate (până la 35 kV între faze) și la aceste valori contactele alunecătoare au o funcționare nesigură;*

- izolarea unei înfășurări fixe la tensiune înaltă se realizează mai comod decât la o înfășurare mobilă;

- bobinele de excitație, dispuse pe miezuri polare (poli aparenti), rezistă mai bine solicitărilor centrifuge decât ar rezista înfășurarea indusului plasată în creștături.

Mașina sincronă în construcție inversată, cu rotorul având rol de indus și statorul inductor, se construiește pentru puteri relativ mici, sub 100 kW.

Mașinile sincrone pot funcționa în două regimuri de bază: ca generatoare și ca motoare. În regim de generator, mașina sincronă transformă puterea mecanică primită la arbore în putere electrică, furnizată unei rețele de curent alternativ. Mașina sincronă funcționând în regim de generator sincron trifazat are cea mai largă răspândire practică, fiind utilizată în exclusivitate în centralele electrice la producerea energiei electrice.

În regim de motor, mașina sincronă transformă puterea electrică primită de la o rețea de curent alternativ în putere mecanică, cedată pe la arbore unei instalații de acționare. Mașina sincronă funcționând în regim de motor sincron trifazat este utilizată în instalațiile de acționare la care este necesară menținerea riguroasă a unei turații constante la un factor de putere bun.

Un al treilea regim de funcționare a mașinii sincrone este acela de compensator al factorului de putere, fiind un regim particular de funcționare în gol a motorului sincron. Compensatoarele sincrone se folosesc pentru compensarea puterii reactive în sistemele electroenergetice.

Funcționarea mașinii sincrone este caracterizată de mărimile nominale înscrise pe plăcuta indicatoare și anume:

- regimul de funcționare (generator, motor, compensator);
- puterea nominală: pentru generatoare este puterea aparentă la borne (în kVA sau MVA) sau puterea activă la borne (în kW sau MW); pentru motoare este puterea mecanică disponibilă la arbore (în kW); pentru compensatoare este puterea reactivă la borne (în kVAR sau MVAR);
- curentul de linie (în A sau kA);
- tensiunea de linie (în V sau kV);
- factorul de putere;
- numărul de faze;
- conexiunea înfășurărilor indusului;
- frecvența (în Hz);

- tensiunea de excitație la funcționarea în gol și în regim nominal (în V);
- curentul de excitație nominal și curentul de excitație maxim admisibil (în A sau kA).

Pentru mașina sincronă, sarcina admisibilă este caracterizată prin puterea aparentă și prin factorul de putere, deoarece acesta determină valoarea puterii de excitație.

Caracteristicile mașinii sincrone se pot determina direct pe cale experimentală sau prin calcul, cunoscând caracteristica de magnetizare a mașinii și valorile parametrilor determinați experimental sau analitic.

Laboratorul numărul 10

Generatorul sincron autonom

Se consideră o mașină sincronă de construcție normală (rotorul - inductor, statorul-indus) antrenată cu viteza unghiulară Ω de către un motor primar ce dezvoltă cuplul activ M_a .

Înfășurarea de excitație, având $2p$ poli și fiind alimentată în curent continuu, produce un câmp magnetic învârtitor de viteză unghiulară Ω ce se rotește sincron cu inductorul. Spirele înfășurărilor de fază ale statorului vor fi înlănțuite de fluxul variabil în timp corespunzător acestui câmp magnetic învârtitor. Considerând câmpul magnetic învârtitor ca având și repartiție sinusoidală în spațiu, fluxul va avea o aceeași variație sinusoidală în timp, cu pulsația:

$$\Omega = p \cdot \Omega$$

Tensiunea indusă într-o înfășurare de fază, sinusoidală în timp, va avea aceeași pulsație, iar în cele trei înfășurări de fază se va induce un sistem trifazat simetric echilibrat de tensiuni. Succesiunea în timp a acestor trei tensiuni va fi impusă de sensul de rotație al câmpului învârtitor inductor. Conectând înfășurarea statorului pe o impedanță trifazată simetrică, aceasta va fi parcursă de curenți de fază ce vor forma un sistem trifazat simetric echilibrat. Astfel, mașina sincronă va debita pe impedanță de sarcină o putere activă, funcționând în regim de generator sincron trifazat.

Referitor la particularitățile constructive ale mașinilor sincrone, generatorul sincron cu poli înecați prezintă un întrefier constant la periferia rotorului, în timp ce generatorul sincron cu poli aparenti prezintă la periferia rotorului un întrefier neuniform.

Curentul continuu, necesar excitării generatorului, este furnizat de regulă de o excitatrice cuplată coaxial cu generatorul. Excitatricea este de fapt un generator de curent continuu cu excitație -derivație sau mixtă, reostatul de câmp al acestuia permițând un reglaj comod al curentului de excitație al generatorului.

Înfășurările indusului generatorului sincron se montează de regulă în stea cu nulul accesibil deoarece o conexiune în triunghi a înfășurărilor indusului ar constitui un circuit închis pentru curenții de armonică trei și multiplu de trei.

Pentru generatorul sincron trifazat funcționând pe o rețea proprie (autonom) caracteristicile de funcționare sunt următoarele:

- ✓ *Caracteristica de mers în gol – $E_0 = f(I_e)$ - descrie dependența tensiunii de mers în gol (curentul de sarcină este nul) în funcție de curentul de excitație, păstrând constantă turația generatorului;*

- ✓ *Caracteristica internă (de sarcină) – $U=f(I_e)$ - reprezintă dependența dintre tensiunea generată, colectată la borne, și curentul de excitație menținând constant curent de sarcină și turația generatorului;*
- ✓ *Caracteristica de externă – $U=f(I)$ - reprezintă evoluția tensiunii la bornele generatorului în funcție de curentul de sarcină în condițiile păstrării turației și curentului de excitație constant;*
- ✓ *Caracteristica de reglaj – $I_e=f(I)$ - reprezintă variația curentului de excitație în funcție de curentul de sarcină păstrând tensiunea la bornele generatorului și turația constant;*
- ✓ *Caracteristica de scurtcircuit – $I_{sc}=f(I_e)$ - reprezintă dependența dintre curentul din circuitul indusului scurtcircuitat și curentul de excitație, păstrând constantă turația generatorului.*

Caracteristicile generatorului sincron trifazat autonom se vor studia pentru diverse sarcini: activă, inductivă, capacitivă sau mixtă.

Procedeu experimental

Pentru trasarea caracteristicilor generatorului sincron autonom se va realiza montajul din figura 1.

În trasarea caracteristicilor trebuie specificat că se va folosi doar sarcina rezistivă – rezistența de sarcină R_s .

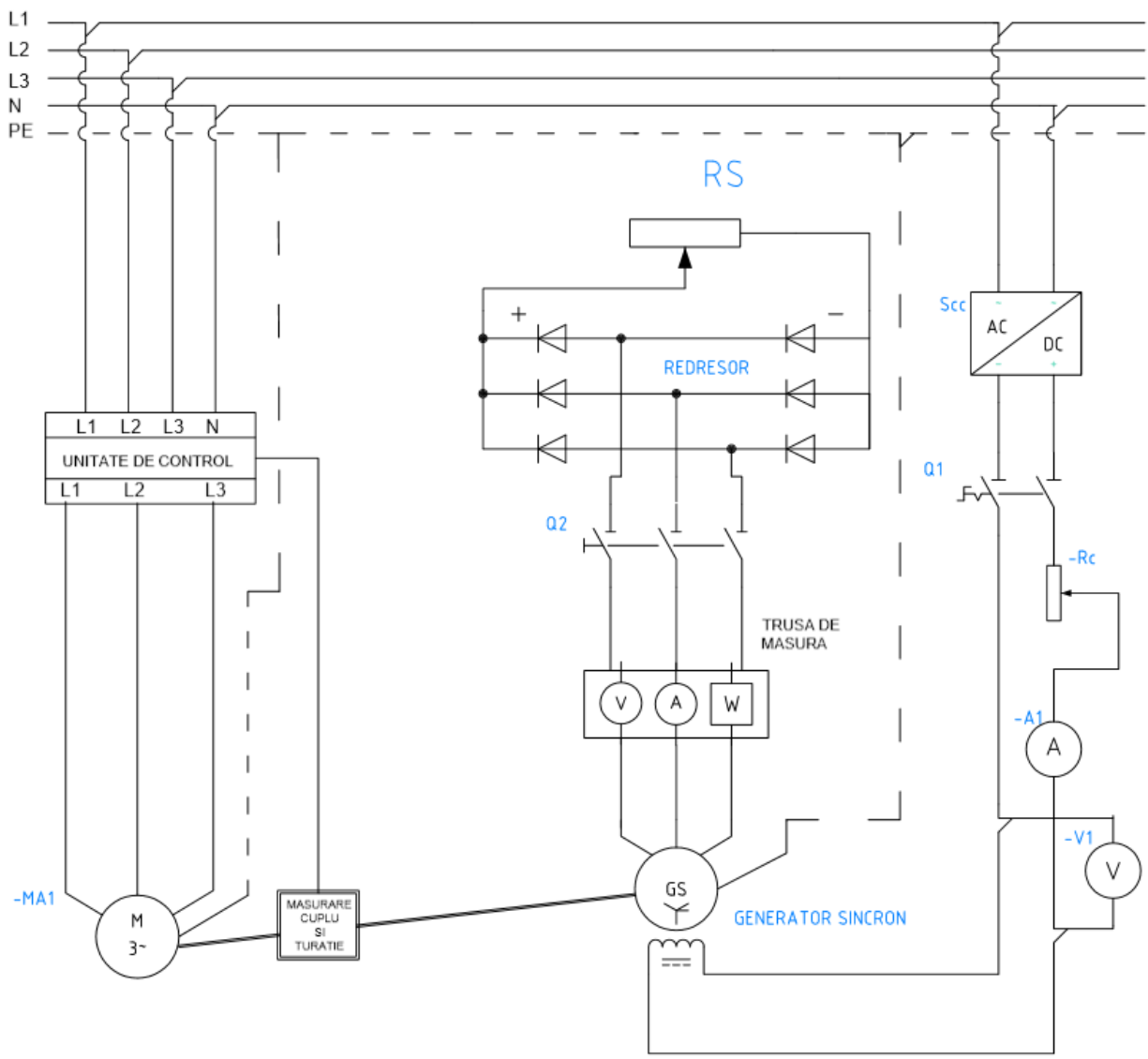


Fig.1 – Schema de încercări

Descriere standuri experimentale:

	Standul numărul 1. –Lucas-Nulle	Standul numărul 2.- Wuekro
	Unitate de control - $n = 3000 \text{ rot/min}$; - $M = 10 \text{ Nm}$	Unitate de control - $n = 1500 \text{ rot/min}$ - $M = 10 \text{ Nm}$
MA	Motor de antrenare – Motor asincron alimentat de unitatea de control	Motor de antrenare – Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control
GS	Generator de sincron	Generator de sincron

	- $n=1500$ rot/min; - $I_e=0,5$ A	- $n=1500$ rot/min; - $I_e=0,65$ A
U_{ex}	Sursă de curent continuu pentru excitație: - $U=220$ V; - $I_{max}=0,5$ A	Sursă de curent continuu pentru excitație: - $U=220$ V; - $I_{max}=0,5$ A
Q_1	Întreprupător de excitație	Întreprupător de excitație
Q_2	Întreprupător de sarcină	Întreprupător de sarcină
R_c	Reostat de câmp 100Ω	Reostat de câmp 200Ω
R_s	Reostat de sarcină 16Ω	Reostat de sarcină 18Ω
A_1	Ampermetru 1 A;	Ampermetru 1 A;
V_1	Voltmetru 300 V;	Voltmetru 300 V;
	Trusă de măsură	Trusă de măsură

În continuare se vor realiza mai multe încercări experimentale pentru a trasa caracteristicile de funcționare ale generatorului sincron autonom, după cum urmează:

1. Caracteristica de mers în gol – $E_0 = U_0 = f(I_e)$ - se trasează păstrând constantă turația aplicată generatorului și curentul de sarcină având valoarea $I=0$.

Pentru a trasa această caracteristică se procedează astfel:

- Se antrenează generatorul cu turație nominală constantă, intrerupătoarele Q_1 și Q_2 fiind deschise;
- Se notează tensiunea remanentă existentă la bornele generatorului E_{0rem} , produsă de magnetismul remanent;
- Se închide întrerupătorul Q_1 , conectând înfășurarea de excitație la sursa de tensiune continuă.
- Se variază curentul de excitație în sens crescător variind rezistența reostatului R_c până când tensiunea generată la borne devine $E_0 = (1,1-1,25)U_N$. Astfel se completează tabelul 1.

Tabelul 1

I_e [A]	0										S. V.
E_0 [V]	E_{0re} m										Curba ascendentă
E_0 [V]											Curba descendentă

* S. V. - sensul de variație al curentului;

Se trasează caracteristica de mers în gol cu valorile rezultate, cu cele două porțiuni:

- curba ascendentă (curba 1- Fig. 2) ;
- curba descendentă (curba 2 - Fig. 2)

Curba 3 din Fig. 2 reprezintă caracteristica de mers în gol a generatorului obținută ca medie între curba ascendentă și curba descendentă.

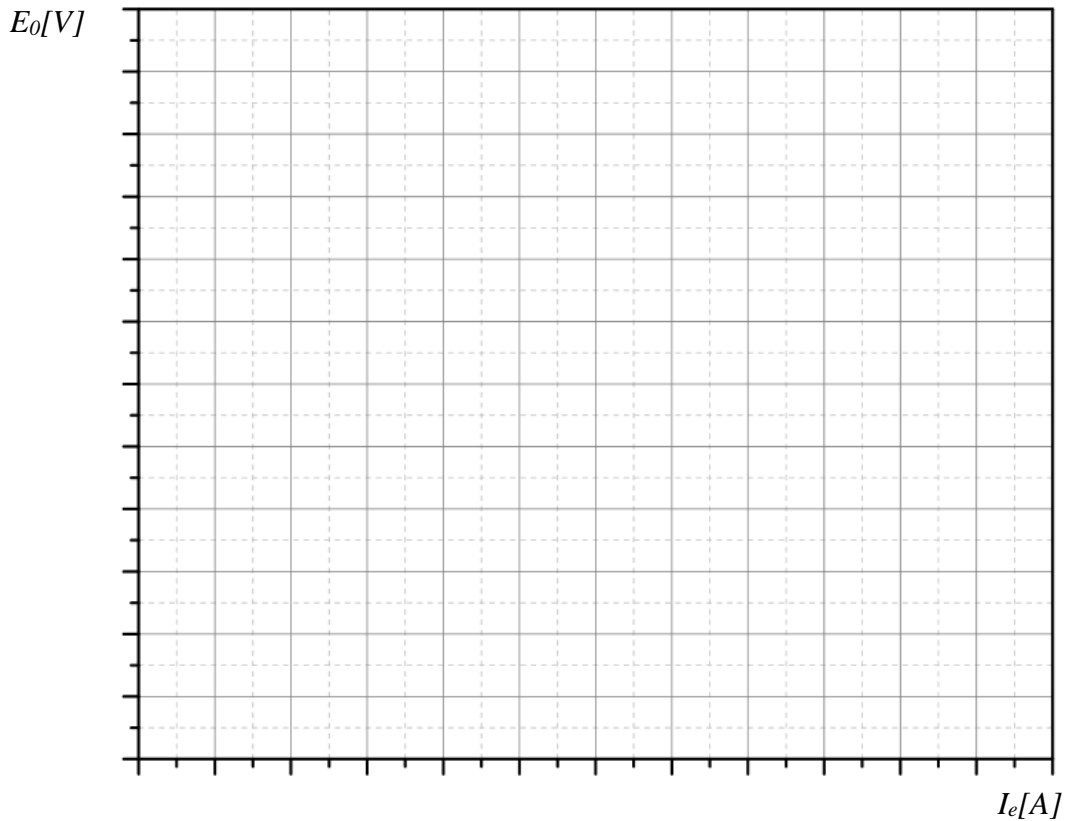


Fig. 2 – Caracteristica de mers în gol

2. Caracteristica de sarcină $-U=f(I_e)$ - se trasează păstrând constantă turația aplicată generatorului și curentul de sarcină constant.
 - Se antrenează generatorul cu turație nominală constantă, întrerupătoarele Q_1 și Q_2 fiind deschise;
 - Se închide întrerupătorul Q_1 , conectând înfășurarea de excitație la sursa de tensiune continuă și se variază rezistența R_c până ce valoarea tensiunii de mers în gol este de $1,25U_N$;
 - Se poziționează reostatul de sarcină R_s pe valoare maximă și se închide întrerupătorul Q_2 .
 - Se variază reostatul de sarcină R_s până ce valoarea curentului de sarcină atinge valoarea nominală.

OBSERVAȚIE: - dacă valoarea tensiunii generate scade aceasta se va regla prin variația simultană a reostatului de câmp R_c și a reostatului de sarcină R_s până ce tensiunea generată $U=1,25U_N$ și $I=I_N$; Curentul de excitație în acest moment este la valoarea maximă.

- Se descrește curentul de excitație, aflat la valoare maximă, până la 0 păstrând curentul de sarcină $I=I_N$ prin variația reostatului de sarcină R_s ; Astfel se completează tabelul 2 și se trasează caracteristica de sarcină a generatorului descrisă în Figura 3.

Tabelul 2

$I_e[A]$	I_{em}								
$U[V]$	$U=1,25U_N$								

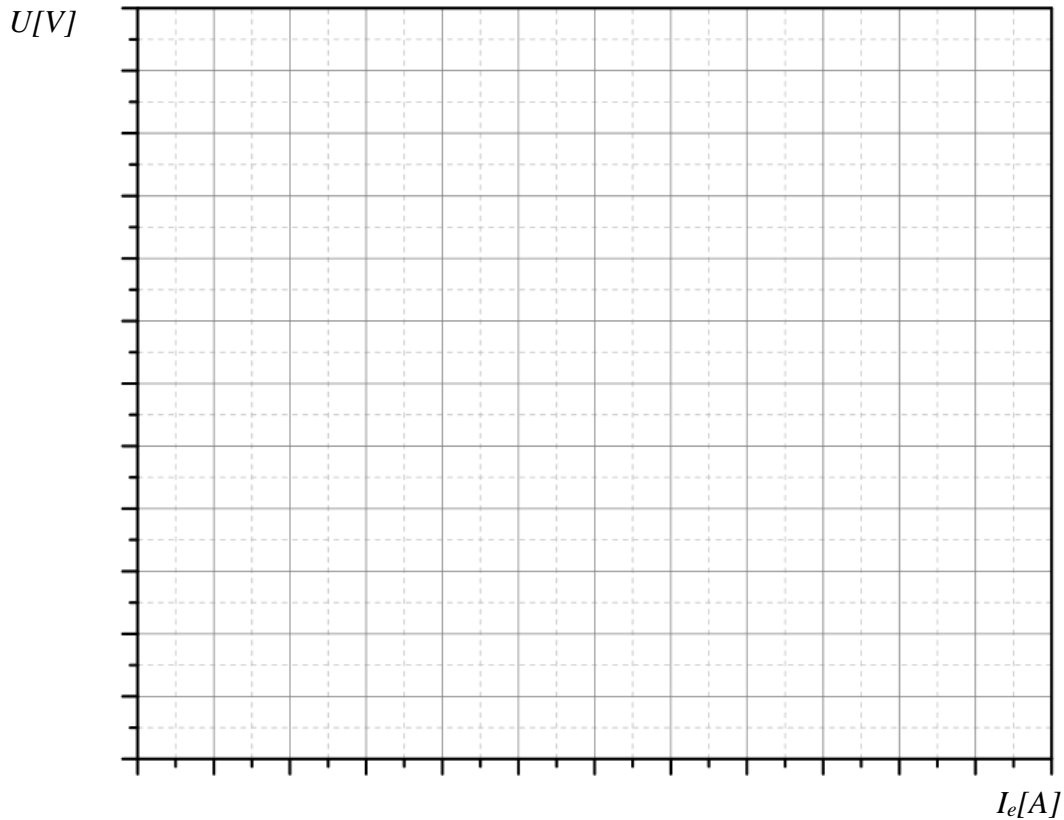


Fig. 3 - Caracteristica de sarcină

3. Caracteristica de externă $-U=f(I)$ - se trasează păstrând constante curentul de excitație și turația aplicată generatorului.
- Se antrenează generatorul cu turație nominală constantă, întrerupătoarele Q_1 și Q_2 fiind deschise;
 - Se închide întrerupătorul Q_1 , conectând înfășurarea de excitație la sursa de tensiune continuă și se variază rezistența R_c până ce valoarea tensiunii la borne este $U=U_N$;
 - Se poziționează reostatul de sarcină R_s pe valoare maximă și se închide întrerupătorul Q_2

- Păstrând constant curentul de excitație se variază curentul de sarcină variind reostatul de sarcină R_s . În tot acest timp se completează tabelul 3 variind curentul de sarcină până ce acesta atinge valoarea nominală $I=I_N$;

Tabelul 3

$I [A]$										
$U [V]$										

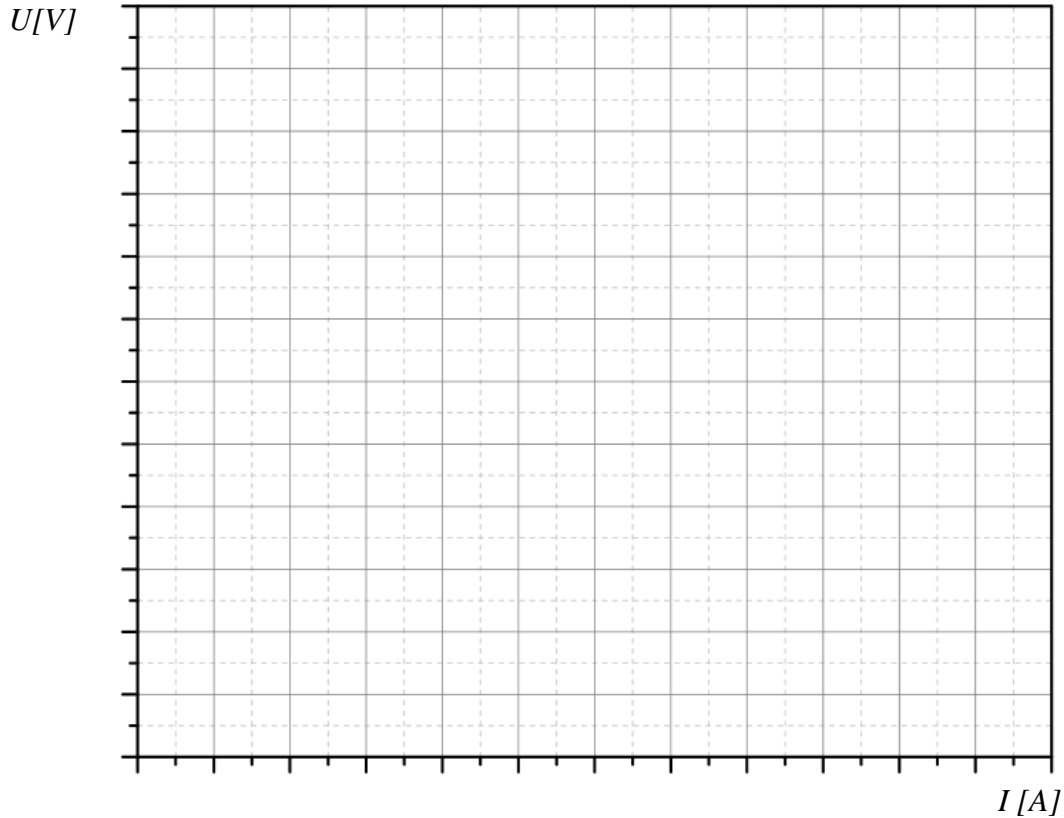


Fig. 4 – Caracteristica externă

OBSERVAȚIE: Se observă că odată cu creșterea curentului de sarcină apare o scădere a tensiunii generate. Această cădere de tensiune este estimată la 8-10% din tensiunea nominală a generatorului U_N .

4. Caracteristica de reglaj $-I_e=f(I)$ – această caracteristică se trasează în scopul păstrării constante a tensiunii la bornele generatorului la aceeași turație aplicată la arbore.
- Se antrenează generatorul cu turație nominală constantă, întrerupătoarele Q_1 și Q_2 fiind deschise;
 - Se închide întrerupătorul Q_1 , conectând înfășurarea de excitație la sursa de tensiune continuă și se variază rezistența R_c până ce valoarea tensiunii la borne este $U=U_N$;

- Se închide întrerupătorul Q_2 și se variază în sens crescător curentul de sarcină de la valoare $I=0$ la nominal ($I=I_N$), căderea de tensiune compensându-se prin creșterea curentului de excitație, completându-se Tabelul 4.

Tabelul 4

$I_e[A]$										$I=I_N$
$I[A]$	$U=U_N$									

Se trasează caracteristica de reglaj din fig. 5.

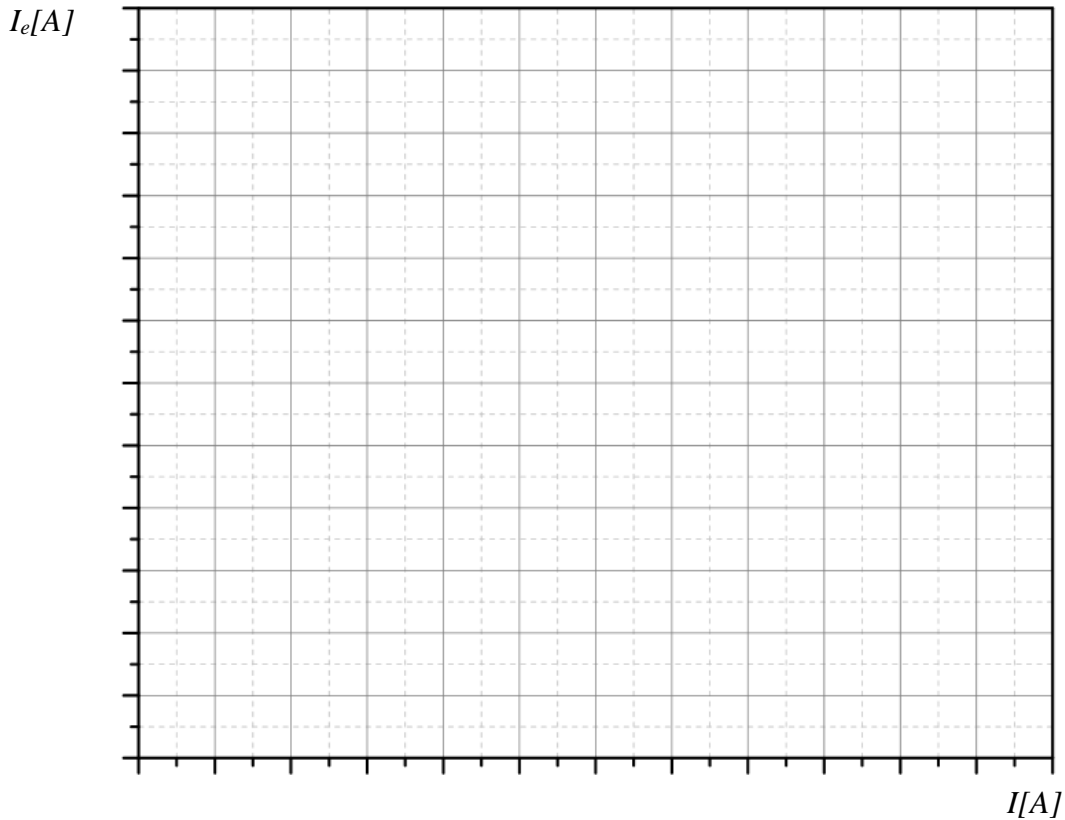


Fig. 5 – Caracteristica de reglaj

OBSERVAȚIE: Se observă că odată cu creșterea curentului de sarcină apare o scădere a tensiunii generate. Această cădere de tensiune este estimată la 8-10% din tensiunea nominală a generatorului U_N .

5. Caracteristica randamentului $-\eta=f(P_2)$ – această caracteristică păstrând turația și curentul de excitație constante.
- Se antrenează generatorul cu turație nominală constantă, întrerupătoarele Q_1 și Q_2 fiind deschise;

- Se închide întrerupătorul Q_1 , conectând înfășurarea de excitație la sursa de tensiune continuă și se variază rezistența R_c până ce valoarea tensiunii la borne este $U=U_N$;
- Se închide întrerupătorul Q_2 și se variază în sens crescător curentul de sarcină de la valoare $I=0$ la nominal, măsurând la fiecare pas puterea la intrare (la arbore) și puterea la ieșire (puterea consumată de reostatul de sarcină). Astfel se completează Tabelul 5.

- Tabelul 4

M_1	n	ω	P_1	I	U	P_2	η
[Nm]	[rot/min]	[rad/sec]	[W]	[A]	[V]	[W]	[%]

În tabelul de mai sus:

Viteza unghiulară: $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} [\text{rad/sec}];$

Puterea aplicată la arbore: $P_1 = M_1 \cdot \omega [W];$

Puterea generată la borne: $P_2 = U \cdot I \cdot \cos\varphi [W];$

Randamentul generatorului: $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 [\%];$

- Se trasează caracteristica randamentului $\eta=f(P_2)$ din figura 6.

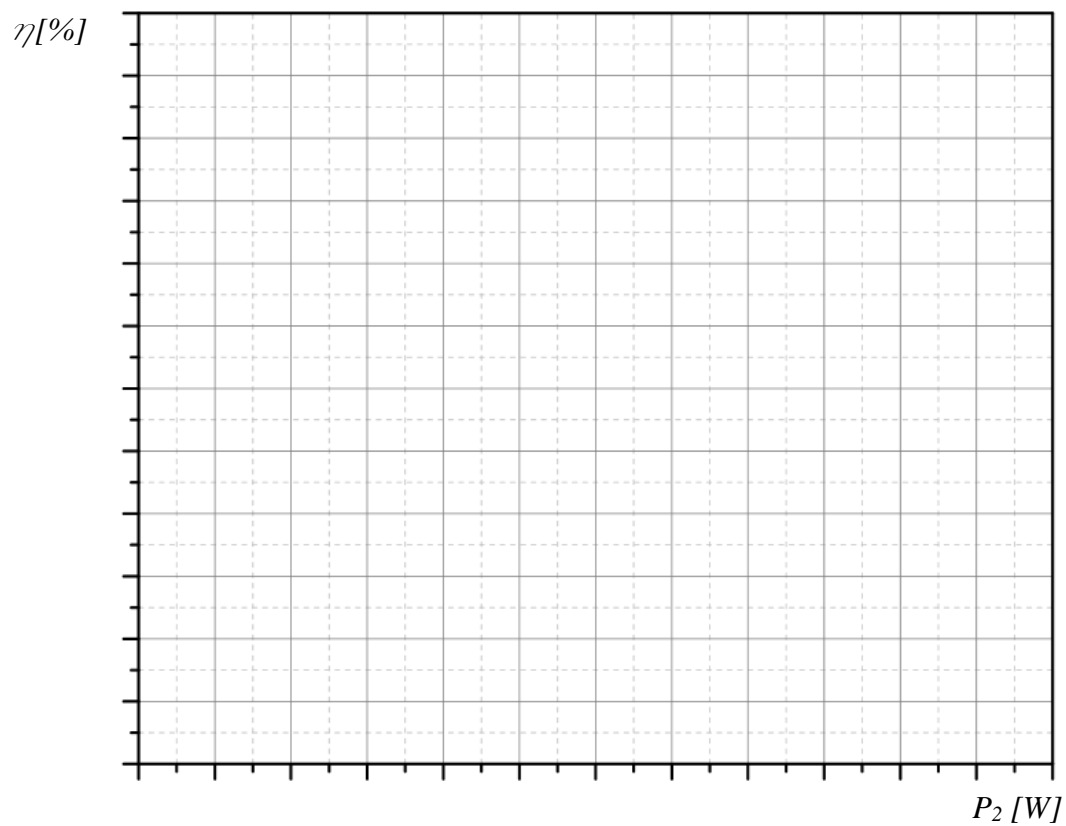


Fig. 6 – Caracteristica randamentului

Laborator numărul 11

Cuplarea și funcționarea în paralel a generatoarelor sincrone.

In centralele electrice sunt instalate de obicei mai multe generatoare sincrone, destinate a funcționa în paralel, pentru a debita energie electrică într-un sistem electroenergetic de putere mare, în comparație cu puterea nominală a fiecărui generator.

Funcționarea în paralel a generatoarelor sincrone generează două categorii de probleme: una legată de efectuarea operației de cuplare în paralel și alta referitoare la funcționarea efectivă a generatoarelor cuplate în paralel.

Conectarea în paralel a generatoarelor sincrone.

Conectarea unui generator la barele unei rețele, fără a perturba funcționarea sistemului și a pune în pericol generatorul, se poate face numai dacă sunt îndeplinite condițiile de sincronizare.

Aceste condiții decurg din necesitatea ca, în momentul cuplării, să existe egalitate între valorile instantanee ale tensiunii electromotoare de mers în gol a generatorului ce urmează a fi cuplat și tensiunii barelor la care se face conectarea și impun satisfacerea simultană a următoarelor deziderate:

a. aceeași valoare efectivă a tensiunilor ambelor sisteme;

b. aceeași frecvență;

c. aceeași succesiune a fazelor (inexistența unui defazaj între cele două marimi).

Operația de identificare a succesiunii fazelor la generatoarele fixe se face o singură dată, la montarea generatorului. Dacă această identificare nu a fost făcută ea se va face odată cu stabilirea și a celorlalte două condiții.

A) Metode de sincronizare fină.

Aceste metode urmăresc ca, la conectarea în paralel a unui generator sincron, condițiile de sincronizare să fie îndeplinite riguros. Condițiile de tensiune și de frecvență se pot verifica cu ajutorul voltmetrelor și al frecvențmetrelor. Coincidența fazelor tensiunilor omoloage ale generatorului și rețelei, în momentul cuplării, se poate verifica prin mai multe metode.

1. Metoda voltmetrului zero.

La această metodă se măsoară diferența dintre tensiunile fazelor omoloage ale generatorului și rețelei, cu ajutorul unui voltmetru conectat pe bornele intreruptorului cu ajutorul căruia se face cuplarea în paralel. În același timp se măsoară, prin elemente de rezistență egală cu cea a voltmetrului și celelalte două contacte ale intreruptorului. La trecerea prin zero, sau printr-un minim, a tensiunii indicate de voltmetru, tensiunile fazelor omoloage ale generatorului și rețelei coincid (desigur, dacă este satisfăcută și condiția succesiunii fazelor).

2. Metoda sincronoscopului cu lampi.

La această metodă se folosește un sincronoscop cu lampi, care constă dintr-un sistem de trei becuri cu incandescență montate într-o cutie, în vârfurile unui triunghi echilateral și conectate electric între cele două sisteme. Conectarea se poate face în montajul cu “foc invar-titor” sau cu

“foc stins – aprins”. In schema cu “foc invaritator” una din lampi, L1, este conectata intre fazele omoloage, iar celelalte doua incrucisat. Coincidenta tensiunilor fazelor omoloage este marcata, in aceasta schema, prin stingerea lampii L1 si o luminozitate egala a lampilor L2 si L3. La inegalitatea frecventelor generatorului si retelei, lampi-le se aprind si se sting succesiv creand iluzia unui foc invaritator a carui viteza indica gradul de abatere a celor doua frecvente. Schema verifica si sensul de succesiune a fazelor generatorului cu cel al retelei: la coincidenta succesiunii focul este invaritator; altfel se sting si se aprind, succesiv, toate lampile odata. In schema cu “foc stins – aprins”, toate becurile sunt mon-tate intre bornele omologe. Identitatea succesiunii fazelor este indicata de faptul ca becurile se sting sau se aprind toate odata, iar diferenta dintre frecvente este data de frecventa stingerii si aprinderii lampilor. 3.

Metoda sincronoscopului cu camp invaritator.

La aceasta metoda se foloseste un dispozitiv electromecanic analog cu motorul asincron bipolar, cu rotorul bobinat. Infasurarea statorica este alimentata de la retea (prin intermediul unor transformatoare reductoare), iar infasurarea rotorica de la bornele generatorului sincron. In aceasta situatie, rotorul sincro-noscopului se va roti cu o viteza determinata de diferenta dintre pulsatiile celor doua sisteme. In general, metodele de sincronizare fina, daca sunt bine aplicate, asigura cuplarea la retea in cele mai bune conditii. Ele prezinta neajunsul ca nu se pot face suficient de rapid si uneori de loc, in cazul in care in sistemul energetic exista variatii de tensiune si frecventa (in urma unor avarii).

B) Metoda autosincronizarii.

Aceasta metoda nu necesita un aparat special, dar poate fi folosita numai daca reseaua este suficient de puternica si daca, in prealabil s-a identificat succesiunea fazelor generatorului ce urmeaza a fi cuplat. Generatorul sincron neexcitat si avand infasurarea de excitatie conectata pe o rezistenta corespunzatoare, este adus (cu ajutorul motorului sau de antrenare) la o turatie apropiata de turatia de sincronism. La masinile mari, turatia poate diferi de cea de sincronism cu cel mult 3%, iar la cele mici cu maximum 5%. Cand se ating aceste turatii generatorul se cupleaza la retea. Imediat dupa cuplare se alimenteaza infasurarea de excitatie cu un curent corespunzator functionarii in gol, dupa care, intr-un interval de timp foarte scurt, generatorul intra in sincronism. Explicatia acestei metode este urmatoarea: Masina nefiind excitata in momentul cuplarii, deci t.e.m. E0 fiind nula, generatorul absoarbe din retea un curent mare, care produce un camp invaritator. Din interactiunea acestui camp invaritator statoric si curen-tii indusi in infasurarea de amortizare a rotorului apare un cuplu asincron care, adaugandu-se cuplului motor furnizat de motorul de antrenare, accelereaza rotorul tinzand sa-l aduca la viteza de sincronism. La generatorul sincron cu poli aparenti actioneaza in acelasi sens si cuplul reactiv. In momentul alimentarii infasurarii de excitatie se produce si un cuplu sincron important si generatorul intra in sincronism. Metoda autosincronizarii prezinta neajunsul de a provoca, in momentul cuplarii la retea a generatorului neexcitat, un soc de curent in infasurarea indusului si o cadere de tensiune corespunzatoare, in retea. Procesul tranzitoriu este insa de scurta durata, astfel incat nu este periclitat nici generatorul si nu este perturbata nici reseaua. La generatoarele conectate la retea prin intermediul unui transformator, socul de curent si caderea de tensiune res-pectiva se reduc

simtitor. Uneori, metoda autosincronizării se aplică într-o variantă care prevede aplicarea tensiunii de excitație simultan cu cuplarea la rețea a generatoarelor. În acest caz socul de curent este mai mare, însă durata fenomenului scade, fapt cu o importanță majoră în situația în care, intervenția rapidă a unui nou generator este strict necesară. În centralele mari există dispozitive care efectuează auto-mat toate operațiile de sincronizare și controlează îndeplinirea condițiilor de cuplare la rețea a generatorului sincron.

Funcționarea generatoarelor sincrone în paralel.

Mășina sincronă, odată cuplata în paralel cu un generator sau cu o rețea, nu se încarcă de la sine ci funcționează în gol, atâta timp cât nu se acționează asupra ei. Se presupune pentru simplificarea unui generator sincron cu poli înecați și se neglijează caderea de tensiune în rezistența indusului. Deci, pentru a încărca generatorul cu un curent I , este necesar în general, ca fazorul tensiunii induse să fie diferit ca fază sau ca amplitudine față de fazorul U , pentru a se obține $E_0 - U > 0$. A)

Încărcarea mășinii sincrone cu putere activă.

Se poate realiza prin defazarea tensiunii electromotoare E_0 a mășinii respective în raport cu tensiunea U a rețelei, sau a generatorului cu care este cuplata. Aceasta se obține prin decalarea inductorului mășinii în raport cu câmpul magnetic învârtitor rezultat. Dacă se mărește viteza motorului de antrenare a generatorului, axa inductorului acestuia se va decala înaintea axei câmpului magnetic rezultat ($\vartheta > 0$), iar mașina sincronă debitează o putere activă ($P > 0$), deci funcționează în regim de generator. Prin aplicarea unui cuplu rezistent la arborele rotorului, axa magnetică a inductorului se va decala în urma axei câmpului magnetic rezultat ($\vartheta < 0$), mașina primește de la rețea putere activă ($P < 0$).

Procedeu experimental

Pentru cuplarea în paralel cu rețeaua a generatorului sincron autonom se va realiza montajul din figura 1.

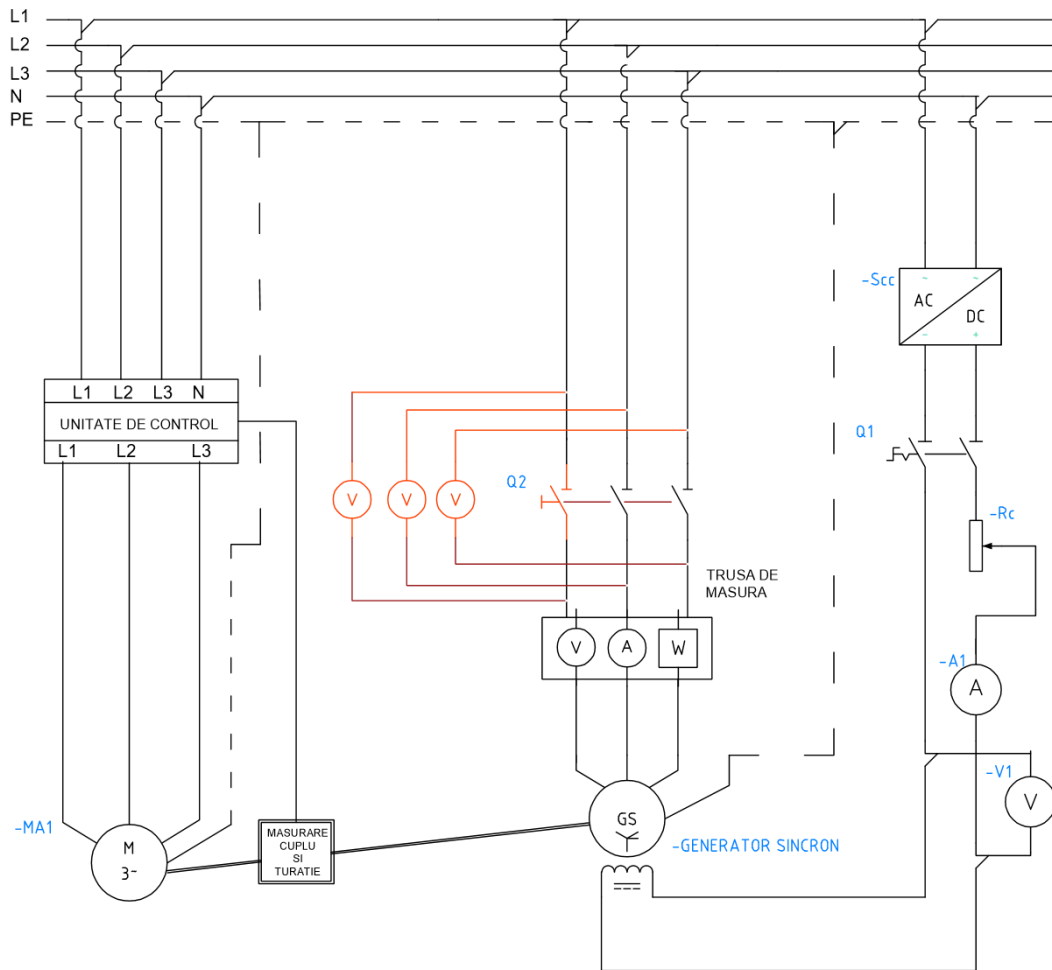


Fig.1 – Schema de încercări

Descriere standuri experimentale:

	<i>Standul numărul 1. –Lucas-Nulle</i>	<i>Standul numărul 2.- Wuekro</i>
	<i>Unitate de control</i> - $n= 3000 \text{ rot/min};$ - $M=10 \text{ Nm}$	<i>Unitate de control</i> - $n= 1500 \text{ rot/min}$ - $M=10 \text{ Nm}$
<i>MA</i>	<i>Motor de antrenare –</i> <i>Motor asincron alimentat de unitatea de control</i>	<i>Motor de antrenare –</i> <i>Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control</i>
<i>GS</i>	<i>Generator de sincron</i> - $n= 1500 \text{ rot/min};$ - $I_e=0,5 \text{ A}$	<i>Generator de sincron</i> - $n= 1500 \text{ rot/min};$ - $I_e=0,65 \text{ A}$
<i>Uex</i>	<i>Sursă de curent continuu pentru excitație:</i> - $U= 220 \text{ V};$ - $I_{max} = 0,5 \text{ A}$	<i>Sursă de curent continuu pentru excitație:</i> - $U= 220 \text{ V};$ - $I_{max} = 0,5 \text{ A}$
<i>Q₁</i>	<i>Întreprător de excitație</i>	<i>Întreprător de excitație</i>
<i>Q₂</i>	<i>Întreprător de sarcină</i>	<i>Întreprător de sarcină</i>
<i>R_c</i>	<i>Reostat de câmp 100 Ω</i>	<i>Reostat de câmp 200 Ω</i>
<i>R_s</i>	<i>Reostat de sarcină 16 Ω</i>	<i>Reostat de sarcină 18 Ω</i>
<i>A₁</i>	<i>Ampermetru 1 A;</i>	<i>Ampermetru 1 A;</i>
<i>V₁</i>	<i>Voltmetru 300 V;</i>	<i>Voltmetru 300 V;</i>
	<i>Trusă de măsură</i>	<i>Trusă de măsură</i>

- *Cuplarea generatorului la rețea se va face urmand metoda voltmetrului 0 concomitent cu metoda sincronoscopului.*
Se va avea in vedere urmarirea celor 3 voltmetre conectate in paralele cu contactele intrerupatorului de punere in paralel cu rețeau, in asa fel incat indicatiile acestora sa fie 0 atunci cand se inchide intrerupatorul.

Laborator numărul 12

Trasarea curbelor în V pentru motorul sincron

Stabilirea performanțelor mașinilor sincrone, cât și a comportării în sistemul energetic sau realizarea unor servicii auxiliare care să-i asigure o exploatare cât mai eficientă, impune cunoașterea unor mărimi de natură electrică, magnetică, termică sau mecanică, specifice. Acestea pot fi determinate, de regulă, prin încercare directă sau prin metoda indirectă. Practic, prezintă interes determinarea pe cale experimentală a mărimilor necesare studiului comportării mașinii în serviciul nominal tip.

Determinarea curentului nominal de excitație

Curentul nominal de excitație reprezintă valoarea curentului din circuitul inductor care asigură la tensiune nominală, frecvență nominală și factor de putere nominal, valoarea nominală a curentului de sarcină. Acesta poate fi determinat prin încărcare directă, mașina sincronă fiind conectată la rețea sau funcționând ca generator sincron autonom debitând pe o impedanță adecvată, sau prin metode indirecte.

Metoda caracteristicilor în "V" Curbele în "V" reprezintă dependența dintre curentul I din indus și curentul I_e de excitație, $I=f(I_e)$, la tensiune și frecvență constante cât și putere utilă constantă pentru generatoare respectiv, cuplu util constant pentru motoare [$I=f(I_e)$ la $U=ct.$, $f=ct.$, $P_2=ct.$ sau $M_2=ct.$]. Pentru determinarea experimentală a acestor caracteristici, se conectează mașina sincronă la rețea și se aduce la regimul impus din punct de vedere al tensiunii, frecvenței, puterii, precum și al sensului de circulație a energiei, reglând în aceste condiții valoarea corespunzătoare a curentului de excitație. În timpul încercării, ce se realizează distinct pentru sarcină inductivă și capacitivă, se măsoară curentul prin înfășurarea indusului și curentul de excitație (tensiunea, frecvența, puterea și cuplul fiind constante), trasându-se grafic dependența $I=f(I_e)$. Se vor trasa mai multe caracteristici, din care una corespunzătoare puterii sau cuplului nominal, figura 1.

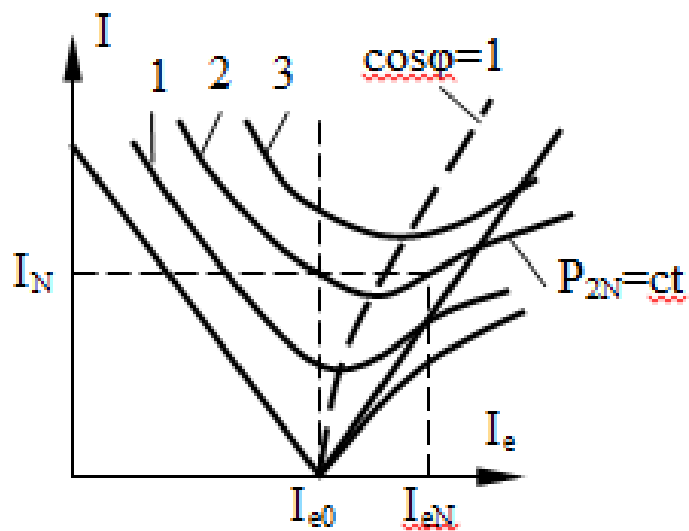
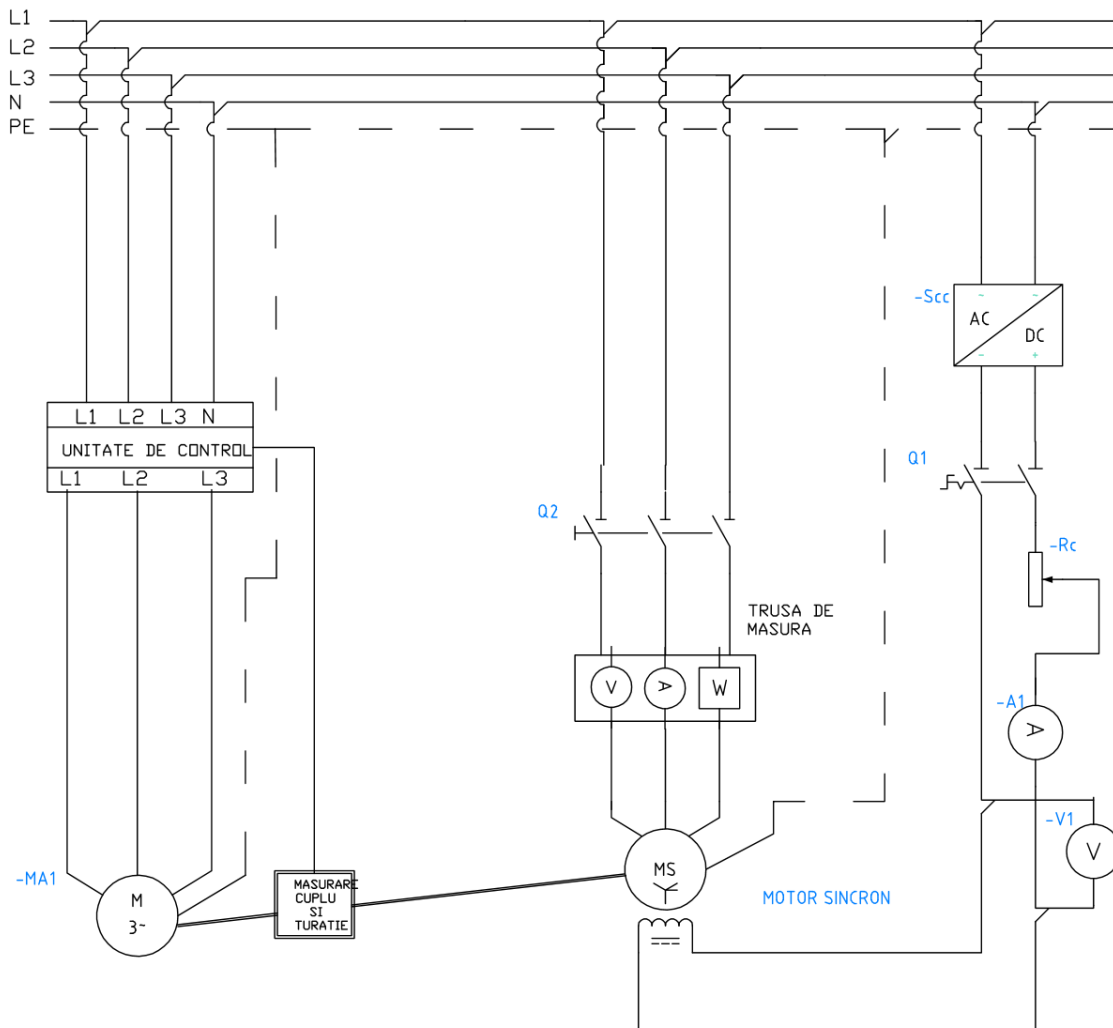


Fig. 1 Caracteristici în V determinate pe cale experimentală

Pe caracteristicile în "V" determinate experimental, ducând o paralelă la axa absciselor, de ordonată I_N , aceasta va intersecta caracteristica în "V" corespunzătoare puterii nominale sau cuplului nominal într-un punct a cărui abscisă reprezintă valoarea curentului nominal de excitație I_{eN} .

Aplicație practică

Să se determine prin metoda caracteristicilor “V” curentul nominal de excitație pentru un motor sincron la 3 niveluri de cuplu rezistent la arbore. Astfel se va completa tabelul de mai jos și se vor trasa caracteristicile $I_l=f(I_{ex})$ și $\cos\varphi=f(I_{ex})$.



Standul de încercare în sarcină a motor sincron

Descriere standuri experimentale:

	<i>Standul numărul 1. –Lucas-Nulle</i>	<i>Standul numărul 2.- Wuekro</i>
	Unitate de control - $n = 3000 \text{ rot/min};$ - $M=10 \text{ Nm}$	Unitate de control - $n = 1500 \text{ rot/min}$ - $M=10 \text{ Nm}$
MA	Motor de antrenare – Motor asincron alimentat de unitatea de control	Motor de antrenare – Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control
GS	Motor de sincron - $n = 1500 \text{ rot/min};$ - $I_e=0,5 \text{ A}$	Motor de sincron - $n = 1500 \text{ rot/min};$ - $I_e=0,65 \text{ A}$
Uex	Sursă de curent continuu pentru excitație: - $U = 220 \text{ V};$ - $I_{max} = 0,5 \text{ A}$	Sursă de curent continuu pentru excitație: - $U = 220 \text{ V};$ - $I_{max} = 0,5 \text{ A}$
Q ₁	Înterupător de excitație	Înterupător de excitație
Q ₂	Înterupător de sarcină	Înterupător de sarcină
R _c	Reostat de câmp 100Ω	Reostat de câmp 200Ω
R _s	Reostat de sarcină 16Ω	Reostat de sarcină 18Ω
A ₁	Ampermetru $1 \text{ A};$	Ampermetru $1 \text{ A};$
V ₁	Voltmetru $300 \text{ V};$	Voltmetru $300 \text{ V};$
	Trusă de măsură	Trusă de măsură

$M[\text{Nm}]$	$U_l [\text{V}]$	$I_l [\text{A}]$	$\cos \varphi$	$U_{ex} [\text{V}]$	$I_{ex} [\text{A}]$	$P_n [\text{W}]$	$\Omega [\text{rad/sec}]$

$M[Nm]$	$U_l [V]$	$I_l [A]$	$\cos \varphi$	$U_{ex} [V]$	$I_{ex} [A]$	$P_n [W]$	$\Omega [rad/sec]$

$M[Nm]$	$U_l [V]$	$I_l [A]$	$\cos \varphi$	$U_{ex} [V]$	$I_{ex} [A]$	$P_n [W]$	$\Omega [rad/sec]$

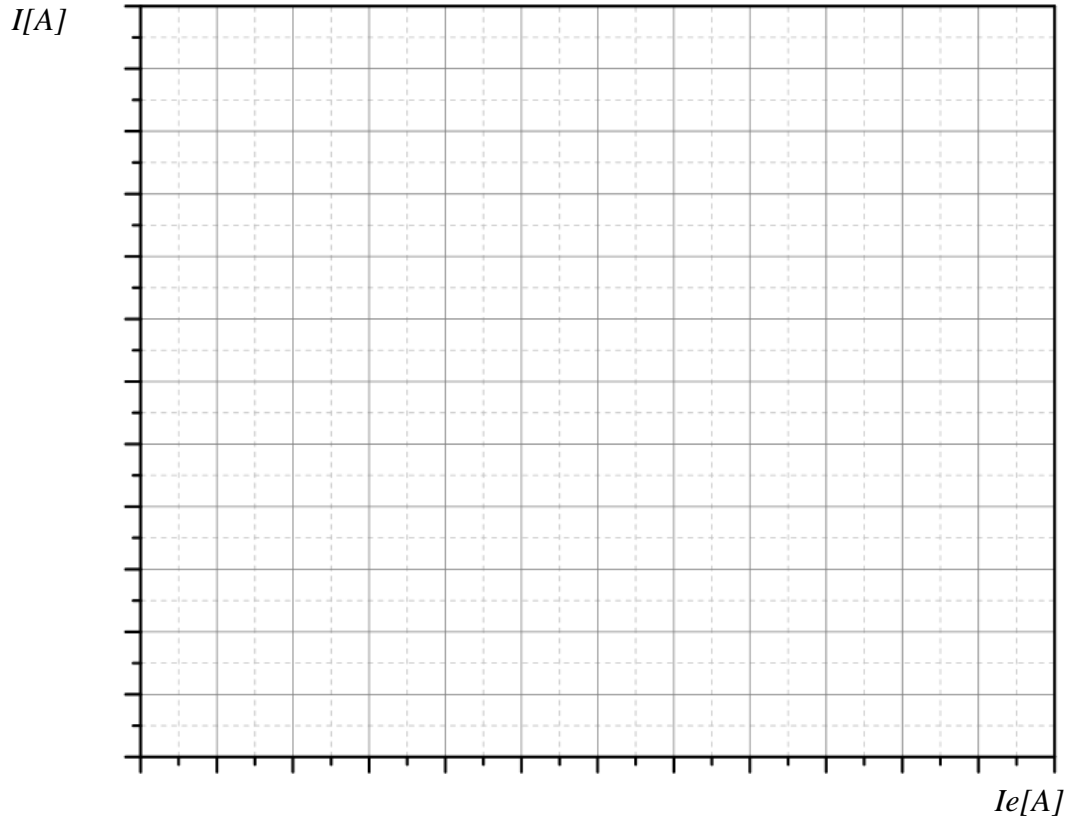


Fig. 2 – Caracteristica curentului în funcție de curent de excitație pentru diverse încărcări ale motorul

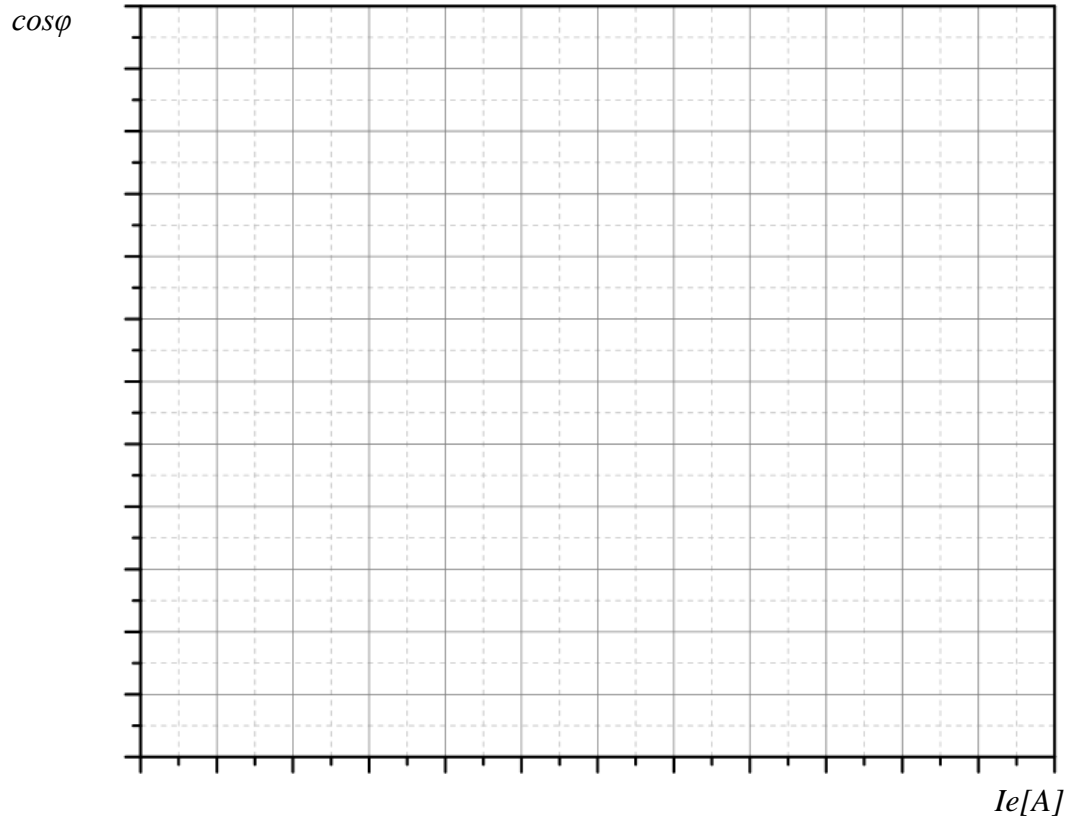


Fig. 2 – Caracteristica factorului de putere funcție de curent de excitație pentru diverse încărcări ale motorul