

Mașini electrice I

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 (flacără 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. În timpul exploatării 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 întrebuiți 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 (conducte, 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 caracaseilor 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 de curent continuu - Considerații generale

Mașinile de curent continuu sunt utilizate pe scară largă în diverse aplicații cum sunt: tracțiunea electrică (motoare de tramvaie și troleibuze, motoare și generatoare pentru locomotive diesel-electrice), mașini de ridicat și poduri rulante, transportoare în industria metalurgică, mașini unelte, generatoare de sudura, etc.

Mașinile de curent continuu au un caracter reversibil putând fi utilizate în două regimuri de funcționare:

- Regimul de generator;
- Regimul de motor.

În cazul regimului de generator, puterea generată de acesta (de natură electrică) este obținută la bornele mașinii, fiind exprimată în W , kW sau MW , iar pentru regimul de motor puterea rezultată este putere mecanică la arbore și se exprimă în W , kW sau MW . Specificațiile și regimul de funcționare se pot identifica de la plăcuța indicatoare a mașinii.

Din punct de vedere electromagnetic, constructiv cea mai simplă mașină de curent continuu este realizată din două părți principale (fig. 1):

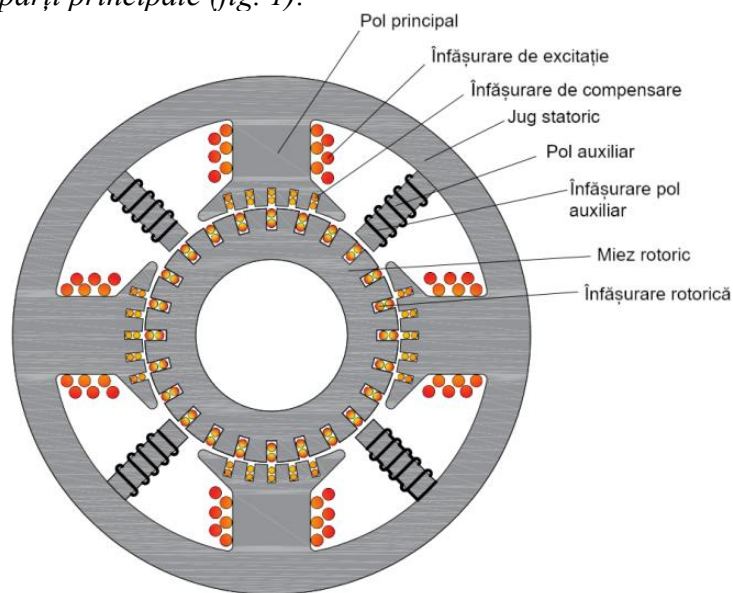


Fig. 1. – Mașina de cc: Structura circuitului electromagnetic

A. **Stator (inductorul)** - constituit din:

- Poli principali (polii inductori) care pot fi realizați din miez feromagnetic masiv sau pachet de tole de 0,5 mm grosime, asamblate prin nituire.
- Înfașurare de excitație care alimentată va crea câmpul magnetic inductor.

- *Jugul statoric, uneori și cu rol de carcasă, asigură închiderea câmpului magnetic inductor;*

B. Rotor (indusul) - constituit din:

- *Miez feromagnetic realizat tot din tole, ce prezintă creștături;*
- *Înfășurarea rotorică uniform repartizată în creștăturile rotorice;*
- *Colector realizat din lamele colectoare, la care se conectează capetele înfășurării indusului, izolate între ele cu mică.*

La mașinile de curent continuu de puteri medii și mari, la nivel statoric, își fac apariția polii auxiliari pe care este plasată înfășurarea de polilor auxiliari (sau de comutație). De asemenea, mașinile de puterii medii și mari beneficiază și de înfășurarea de compensație, plasată în piesele polare ale polilor inductor. Această înfășurare, după cum este și denumirea, are rolul de a reduce câmpul magnetic de reacție produs de înfășurarea indusului.

La structura electromagnetică, pentru a asigura funcționalitatea mașina prezintă și elementele de susținere mecanică și ventilație (talpa de prindere, carcasă, scuturi, rulmenți, ax., suport port perii, cârlig de manipulare), la care se adaugă cutia de borne pentru realizarea conexiunilor.

Generatorul de curent continuu

*O mașină de curent continuu care funcționează în regim de generator primește putere mecanică la arbore și cedează putere electrică la borne. Pe lângă puterea mecanică la arbore este necesar ca înfășurarea de excitație să fie alimentată pentru a crea câmpul magnetic inductor. Prin rotația spirelor indusului, în câmpul magnetic inductor, prin inducției electromagnetice, în acestea se va induce tensiune alternativă. Sistemul perii colector realizează conversia tensiunii alternative în tensiune continuă (colectată la borne prin intermediul periilor), de aici și numele de **redresor mecanic**.*

În funcție de conectarea înfășurării de excitație în raport cu înfășurarea indusului, mașinile de curent continuu se pot conecta astfel:

- *Generatorul de curent continuu cu excitație separată -curentul de excitație este furnizat de o sursă externă de tensiune continuă.*
- *Generatorul de curent continuu cu excitație derivație - tensiunea aplicată înfășurării de excitație este o parte din tensiunea generată;*
- *Generatorul de curent continuu cu excitație serie - curentul de excitație este tocmai curent indus în înfășurarea indusului;*
- *Generatorul de curent continuu cu excitație mixtă - prezintă două înfășurări de excitație: una serie și una derivație.*

Caracteristicile generatorului de curent continuu

Comportarea mașinilor electrice este descrisă de caracteristicile de funcționare. Și în cazul generatorului de curent continuu, caracteristicile de funcționare date de mărimile electrice, magnetice și mecanice reprezentate grafic vor descrie comportare acestuia.

Principalele caracteristici ale generatorului de curent continuu sunt:

- ✓ 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.

Motorul de curent continuu

O mașină de curent continuu care funcționează în regim de motor primește putere electrică la borne și cedează lucru mecanic la arbore. Alimentând înfășurarea de excitație se creează câmpul magnetic inductor. Alimentând cu tensiune continuă înfășurarea indusului (rotorică), prin spirele acesteia va circula curent alternativ datorită sistemului perii-colector, care joacă rolul de inverter mecanic. Interacțiunea dintre câmpul magnetic inductor și curentul alternativ din indus va da naștere forței Lorentz care va pune rotorul în mișcare.

Ca și în cazul generatoarelor de curent continuu, în funcție de modul de conectare a înfășurării de excitație în raport cu înfășurarea indusului, motoarele de curent continuu pot fi: cu excitație separată, derivație, serie și mixtă.

Caracteristicile motorului de curent continuu

Principalele caracteristici ale motorului de curent continuu sunt:

- ✓ Caracteristici de pornire – descriu grafic evoluția motorului din momentul cuplării la rețea până ce acesta atinge turația nominală, adică regimul stabil de funcționare.
- ✓ Caracteristici de funcționare – descriu grafic funcționarea motorului prin relațiile dintre viteza de rotație respectiv, cuplul dezvoltat de motor și mărimile electrice rezultate în urma alimentării motorului cu tensiune continuă. Cele mai importante caracteristici de funcționare sunt: $n=f(P_2)$, $M=f(P_2)$ și $\eta=f(P_2)$, și cea mai importantă caracteristică este caracteristica mecanică $n=f(M)$ descrisă la păstrarea constantă a tensiunii de alimentare $U=U_n=U_a$ și fără reglajul curentului de excitație.
- ✓ Caracteristicile de reglaj a vitezei descriu posibilitatea de reglare a turației motorului. Aceste caracteristici, ca și cele de funcționare, exceptând caracteristica randamentului, $\eta=f(P_2)$, depind de tipul de excitație de care beneficiază motorul.

Laboratorul numărul 3

Generatorul de curent continuu cu excitație separată

Generatorul de curent continuu cu excitație separată este generatorul la care înfășurarea de excitație, plasată pe polii principali, se conectează de la o sursă de tensiune continuă externă. În această configurație tensiunea generată este mai puțin dependentă de sarcina aplicată comparativ cu generatorul de curent continuu cu excitație derivație.

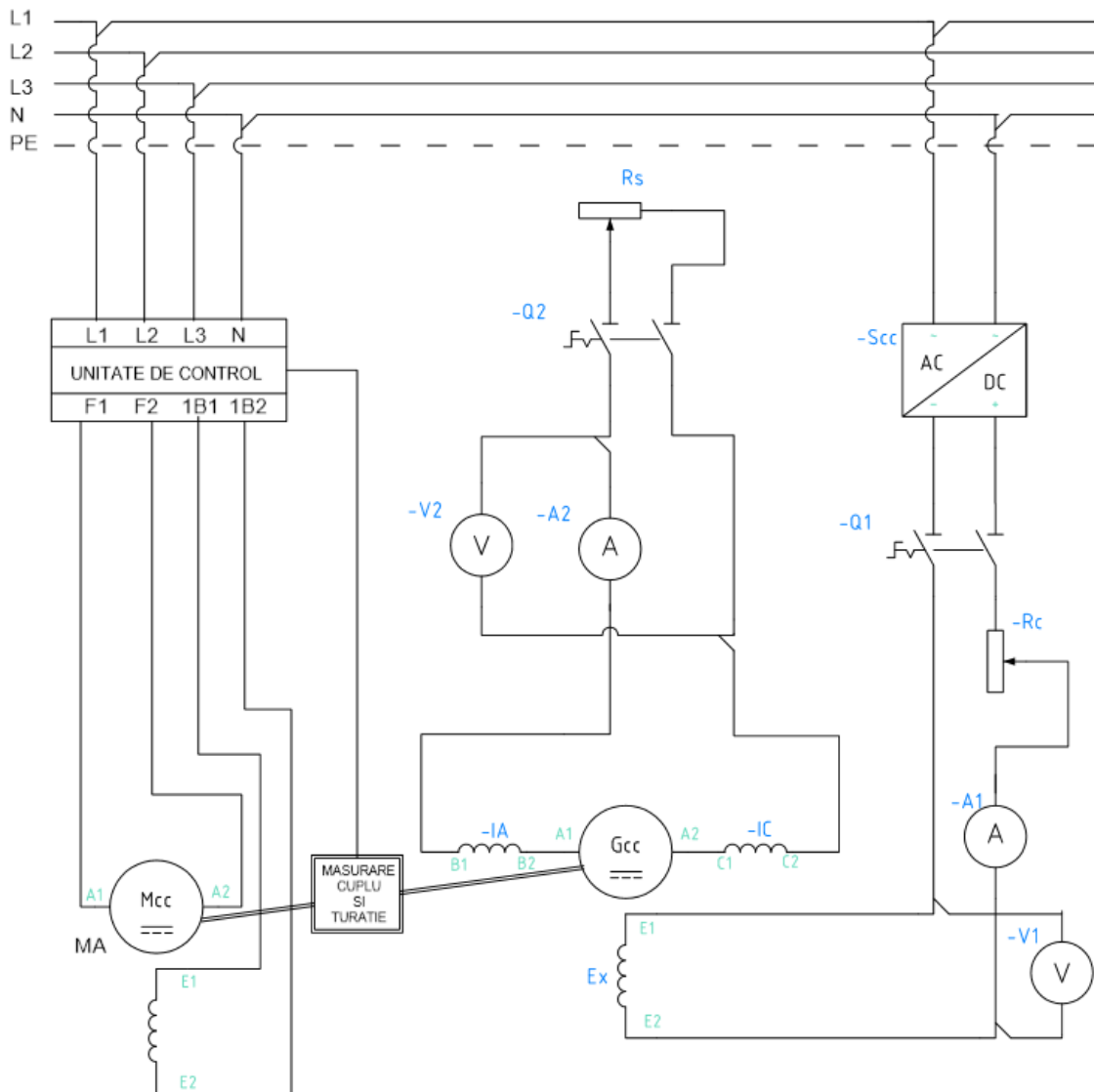


Fig.1 – Schema de încercări

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
Gcc	Generator de curent continuu cu excitație separată: - $n= 2800$ rot/min; - $I_e=0,5$ A	Generator de curent continuu cu excitație separată: - $n= 1500$ rot/min; - $I_e=0,65$ A
Uex	Sursă de curent continuu pentru excitație: - $U= 220$ V; - $I_{max} = 0,8$ A	Sursă de curent continuu pentru excitație: - $U= 220$ V; - $I_{max} = 0,8$ 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;
A_2	Ampermetru 10 A;	Ampermetru 10 A;
V_1	Voltmetru 300 V;	Voltmetru 300 V;
V_2	Voltmetru 300 V;	Voltmetru 300 V;

În continuare se vor realiza mai multe încercări experimentale pentru a trasa caracteristicile de funcționare ale generatorului de curent continuu cu excitație separată 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.
$E_o[V]$	E_{0rem}								Curba ascendentă
$E_o[V]$									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.

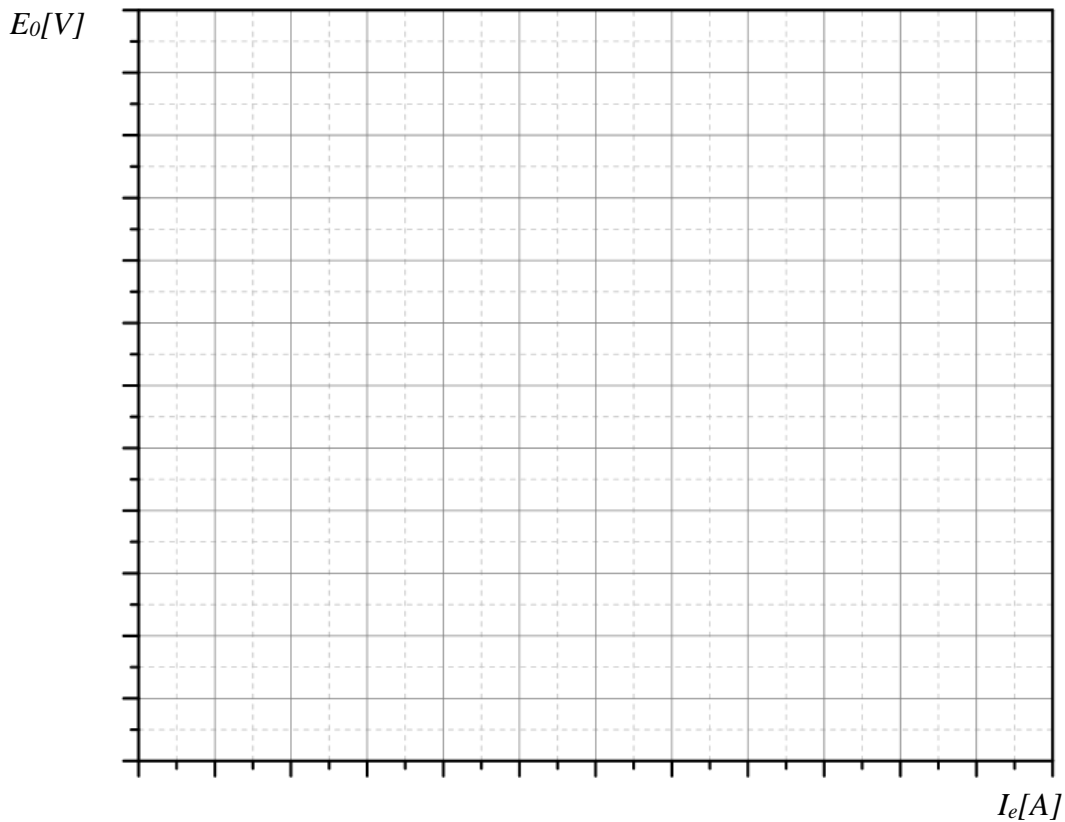


Fig. 2 – Caracteristica de mers în gol

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, intrerupătoarele Q1 și Q2 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}								
$U[V]$	$U=1,25U_N$								

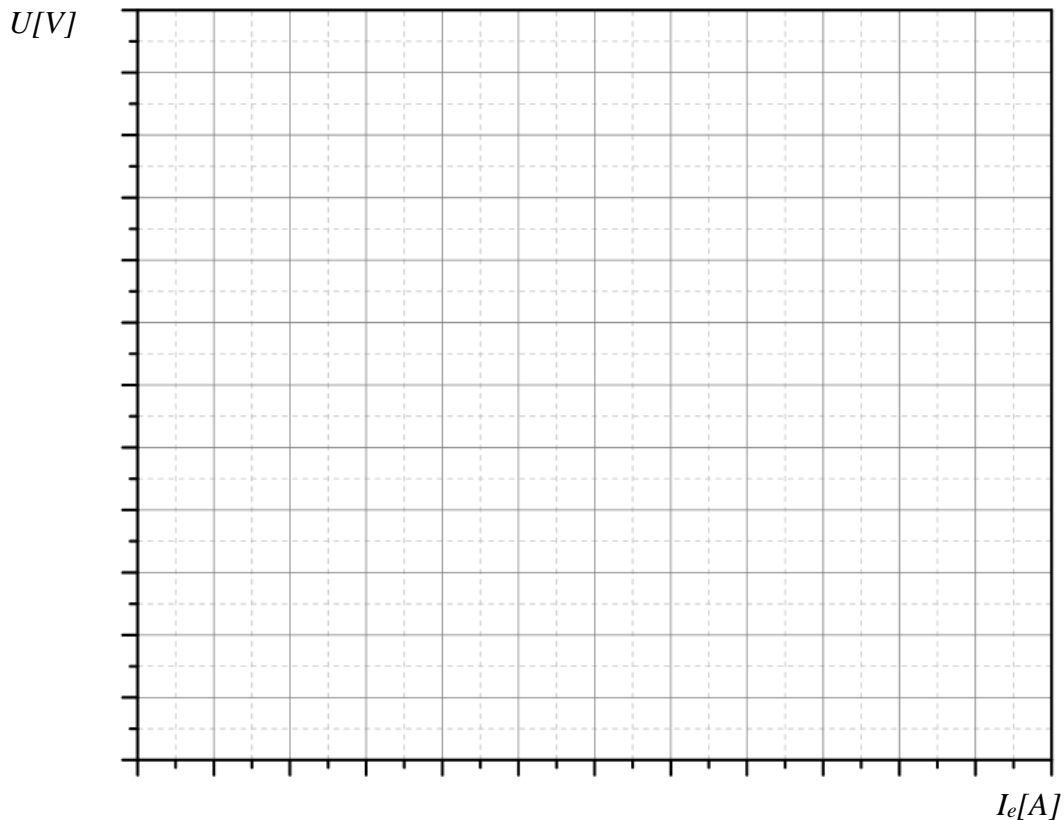


Fig. 3 - Caracteristica de sarcină

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, intrerupătoarele 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

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

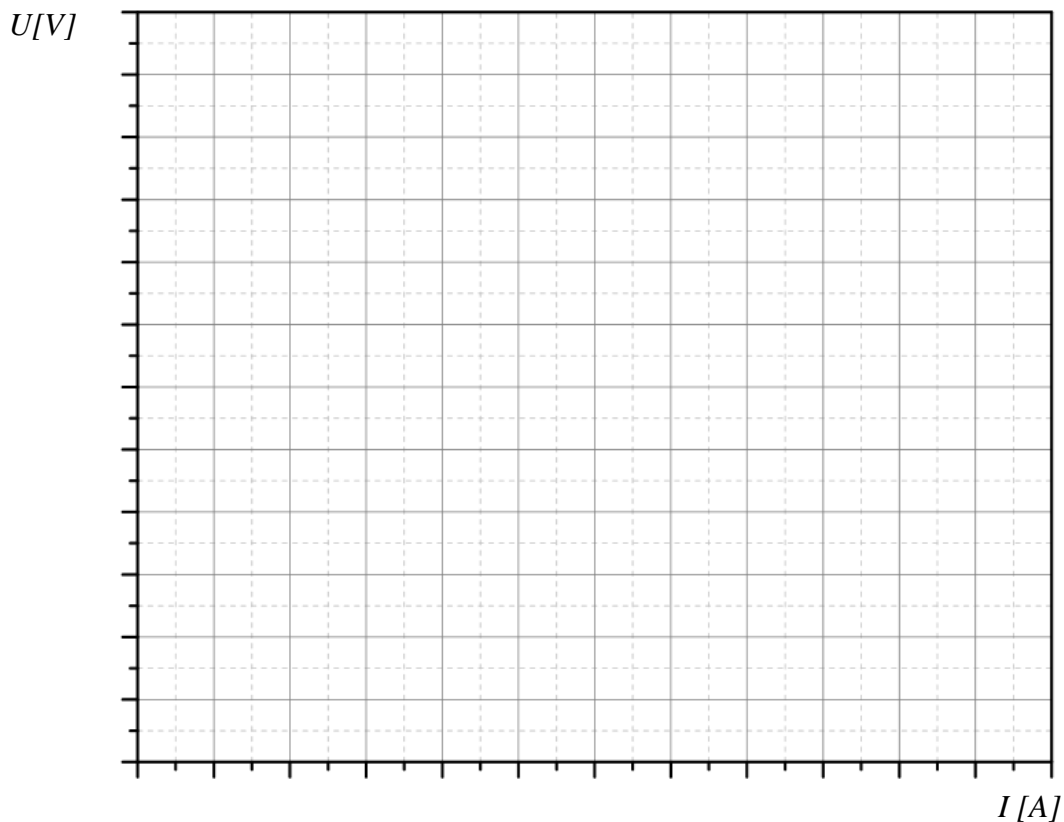


Fig. 4 – Caracteristica externă

- 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, intrerupătoarele 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 valoarea $I=0$ 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.

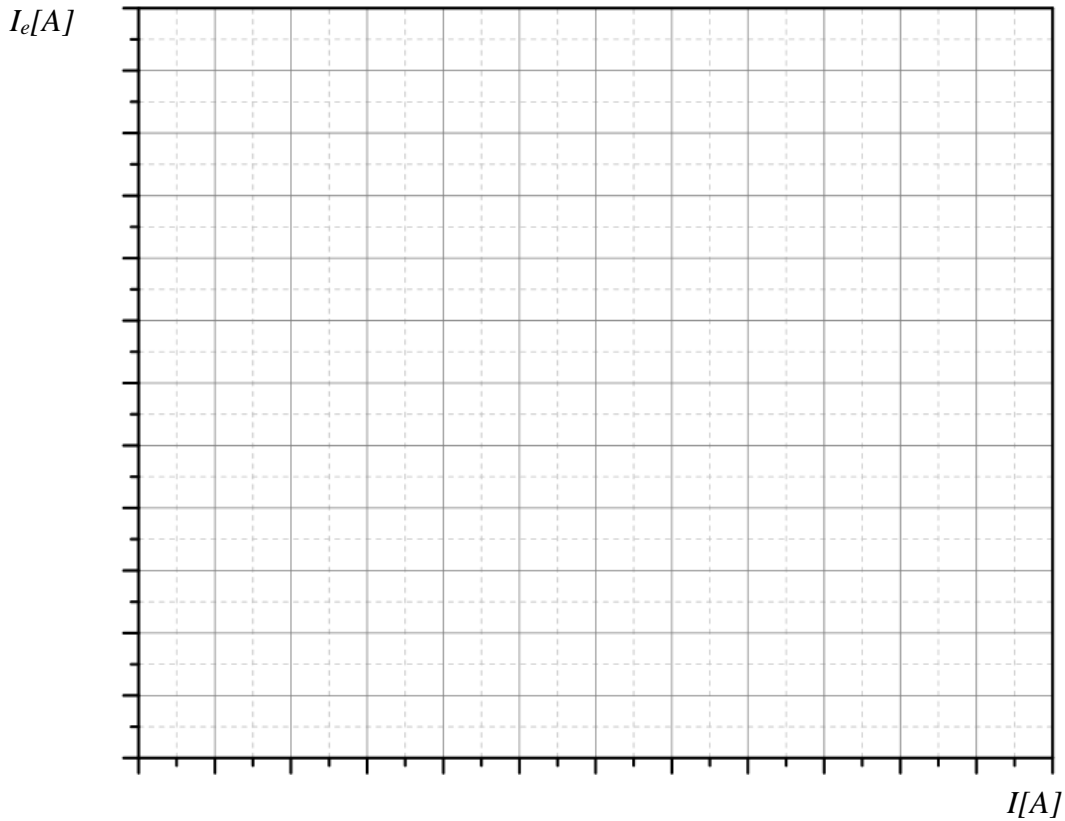


Fig. 5 – Caracteristica de reglaj

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 sarcina de la valoarea $I=0$ 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: $\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} [\text{rad/sec}];$

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

Puterea generată la borne: $P_2 = U \cdot I [\text{W}];$

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

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

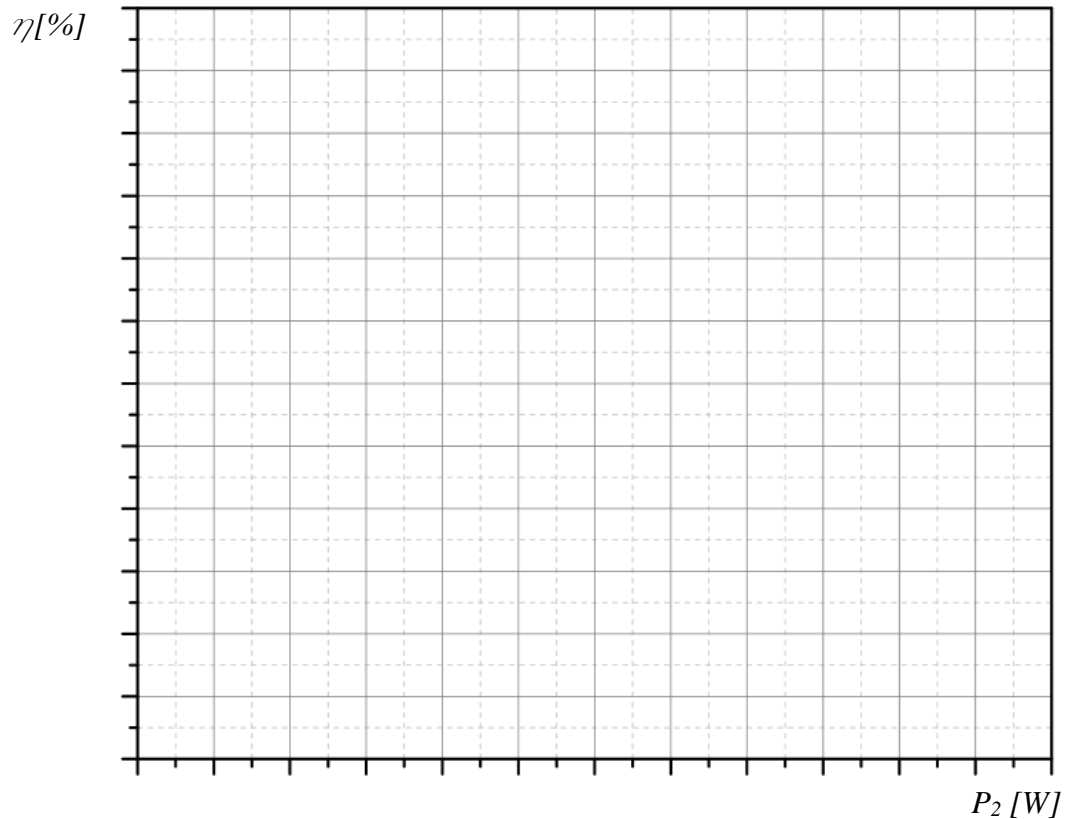


Fig. 6 – Caracteristica randamentului

Întrebări:

1. *Ce se modifică în funcționarea generatorului dacă se variază curentul de excitație prin intermediul reostatului de câmp?*
2. *Ce se întâmplă în funcționare dacă se deschide Q_2 și se deconectează de la tensiune înfășurarea de excitație?*
3. *Cum pot compensa o eventuală cădere a tensiunii la bornele generatorului odată cu creșterea sarcinii?*

Laboratorul numărul 4

Generatorul de curent continuu cu excitație derivație

Generatorul de curent continuu cu excitație derivație este generatorul la care înfășurarea de excitație, plasată pe polii principali, se conectează în paralel cu înfășurarea rotorică. În această configurație, tensiunea aplicată înfășurării de excitație este egală cu tensiunea generată, regăsită la bornele înfășurării rotorice. Este important ca înfășurarea de excitație să fie parcursă un curent ce reprezintă 20% din curentul ce străbate înfășurarea (rotorului). În acest fel, constructiv înfășurarea de excitație este realizată dintr-un număr mare de spire de secțiune redusă.

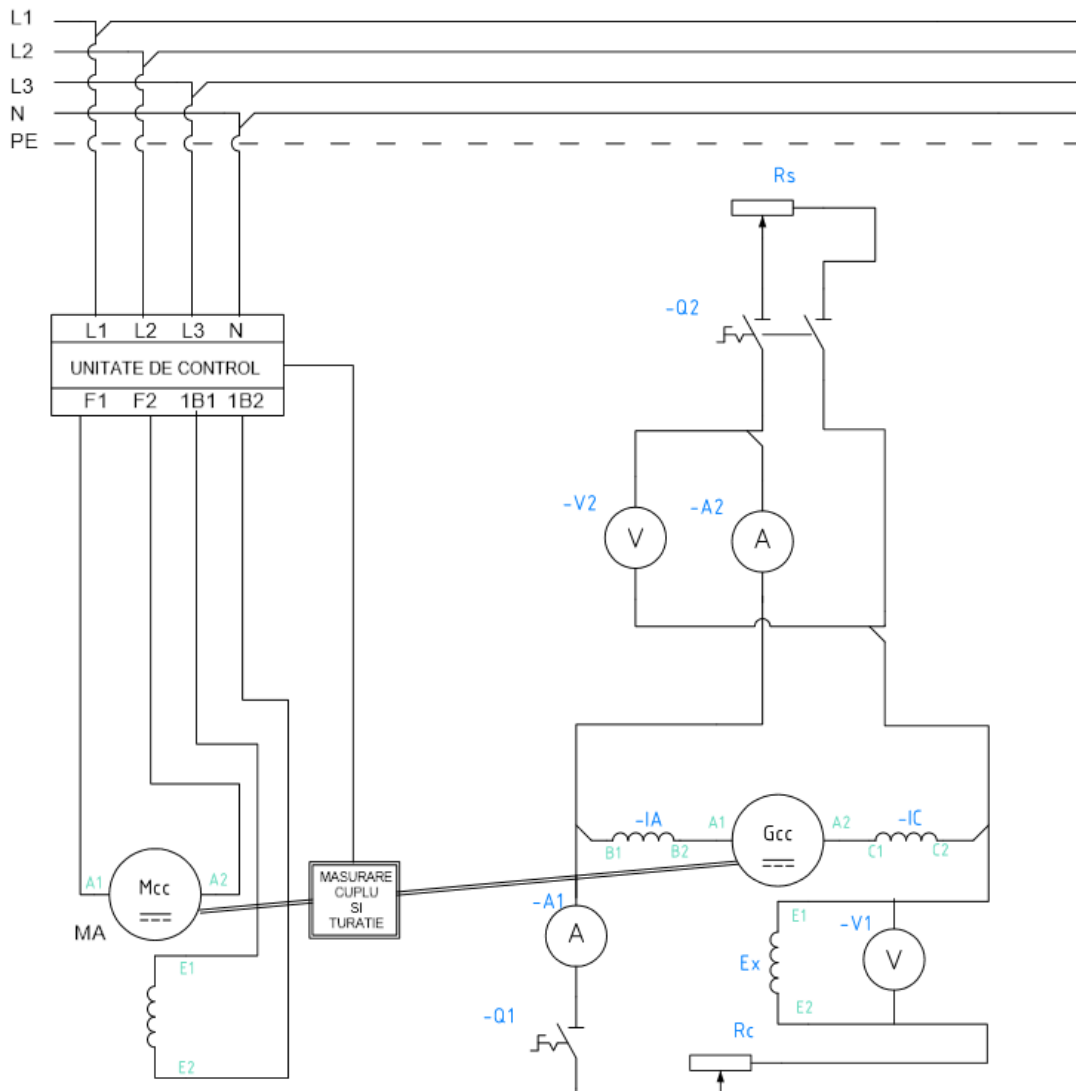


Fig.1 – Schema de încercări

Generatorul de curent continuu cu excitație derivație se mai numește și generatorul cu autoexcitație deoarece își produce singur curentul de excitație. Acest de excitație se produce în urma procesului de AMORSARE.

Amorsarea generatorului de curent continuu cu excitație derivație se poate realiza doar în următoarele condiții:

- **Generatorul trebuie să prezinte câmp magnetic remanent;**
- **Sensul fluxului creat de înfășurarea de excitație trebuie să fie în același sens cu al fluxului remanent;**
- **Valoarea reostatului de câmp trebuie să aibă o valoare mica astfel încât valoarea rezistenței întregului circuit de excitație să fie sub o valoare critică data;**

Pentru amorsarea generatorului cu excitație derivație se procedează astfel:

- Cu în întrerupătoarele Q_1 și Q_2 deschise se va antrena generatorul cu turație nominală cu mașina de antrenare;
- Dacă circuitul magnetic statoric prezintă câmp magnetic remanent voltmetrul V_1 , conectat în paralel cu înfășurarea de excitație, va indica o tensiune $E_{0rem}=(3-8\%)*U_N$;
- Închizând întrerupătorul Q_1 , prin înfășurarea de excitație va circula un curent datorită tensiunii remanente generată de fluxul remanent din mașină; Acest curent va genera la rândul lui un flux adițional fluxului magnetic remanent. Prin sumarea celor două fluxuri curentul de excitație va crește, acest proces continuând până ce la bornele indusului se va obține tensiunea de mers în gol E_0 . În acest moment generatorul de curent continuu se consideră amorsat.

OBSERVAȚIE: În situația în care generatorul nu posedă câmp magnetic remanent sau fluxul creat de tensiunea remanentă este invers sensului fluxului remanent atunci curentul prin înfășurarea de excitație, măsurat cu ampermetrul A_1 , este nul.

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
Gcc	Generator de curent continuu cu excitație derivație: - $n= 2800$ rot/min; - $I_e=0,5$ A	Generator de curent continuu cu excitație derivație: - $n= 1500$ rot/min; - $I_e=0,65$ A
Q_1	Întrerupător de excitație	Întrerupător de excitație
Q_2	Întrerupător de sarcină	Întrerupător 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;
A_2	Ampermetru 10 A;	Ampermetru 10 A;

V_1	Voltmetru 300 V;	Voltmetru 300 V;
V_2	Voltmetru 300V;	Voltmetru 300V;

În continuare se vor realiza mai multe încercări experimentale pentru a trasa caracteristicile de funcționare ale generatorului de curent continuu cu excitație derivație, după cum urmează:

6. 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 $I=0$.

Datorită fenomenului de autoexcitare caracteristica de mers în gol se trasează doar parțial deoarece o creștere prea mare a reostatului de câmp va duce la o scădere a curentului de excitație. Astfel generatorul se poate dezamorsează.

Pentru a trasa această caracteristică se procedează astfel:

- Se antrenează generatorul cu turație nominală constantă, întrerupătoarele 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 , și se citește tensiunea de mers în gol a generatorului E_0 ;
- Se variază curentul de excitație în sens descrescător variind crescând valoare rezistenței reostatului R_c până se ajunge ca tensiunea generată să fi aproximativ egală cu tensiunea generată remanentă, E_{0rem} . Astfel se completează tabelul 1.

Tabelul 1

$I_e[A]$								0
$E_0[V]$								E_{0rem}

Se trasează caracteristica de mers în gol cu valorile rezultate în Fig. 2

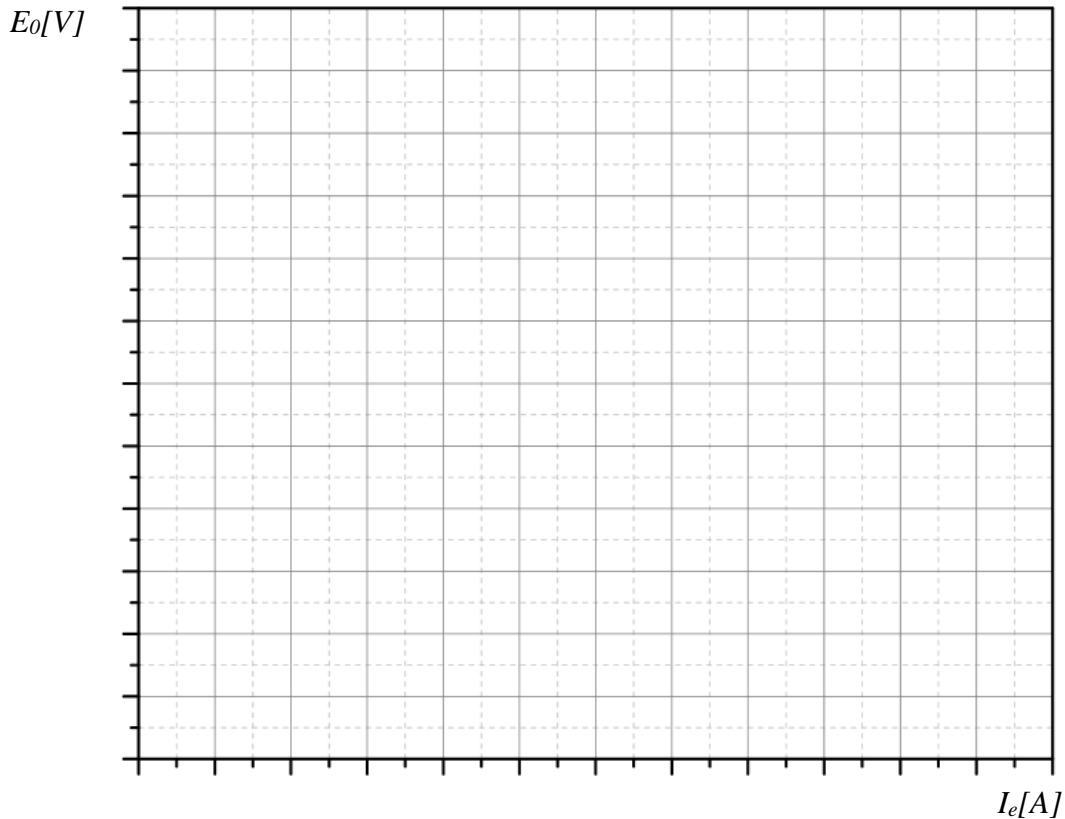


Fig. 2 – Caracteristica de mers în gol

7. 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 , și se amorsează generatorul.
 - 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 $U=U_N$ 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 o valoare minimă, 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.
- OBSERVAȚIE:** - o valoare prea mică a curentului de excitație ar duce la dezamorsarea generatorului, acest fenomen fiind mult mai pronunțat decât la generatorul cu excitație separată.

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

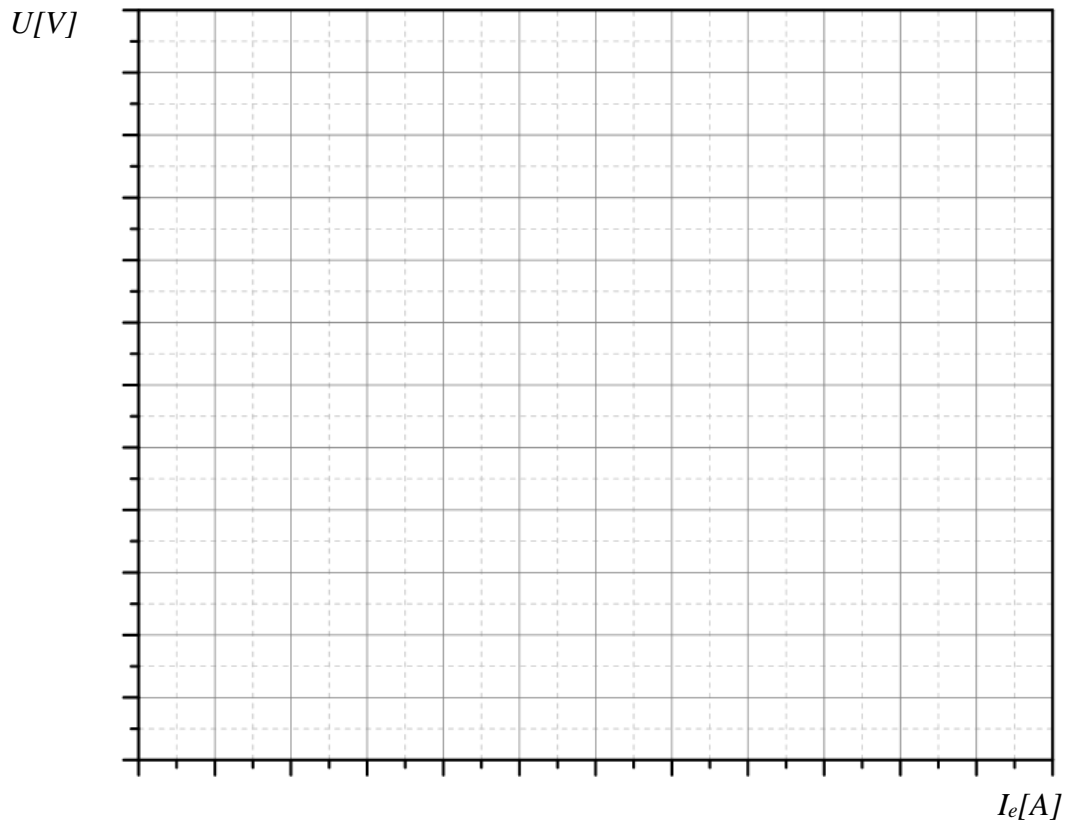


Fig. 3 - Caracteristica de sarcină

8. 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 amorsează generatorul prin închiderea întrerupătorului Q_1 și se variază R_c până acela bornele generatorului se obține tensiunea nominală $U=U_N$.
 - Se poziționează reostatul de sarcină R_s pe valoare maximă și se închide întrerupătorul Q_2 .
 - Se modifică curentul de sarcină în sens crescător variind reostatul de sarcină R_s , păstrând reostatul de câmp R_c la aceeași valoare. În tot acest timp se completează tabelul 3 variind curentul de sarcină până ce acesta atinge valoarea nominală $I=I_N$;

Tabelul 3

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

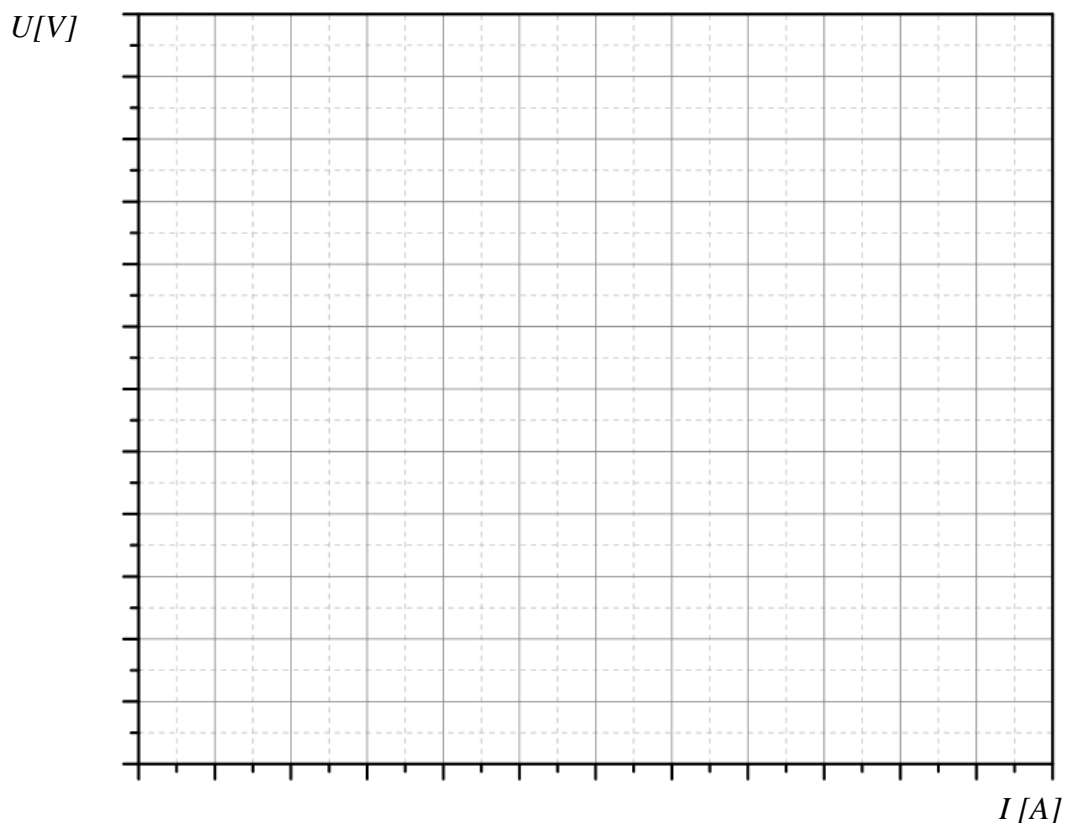


Fig. 4 – Caracteristica externă

OBSERVAȚIE: Se observă că odată cu creșterea curentului de sarcină apare o scădere a tensiunii generate. Această cădere de tensiune este mai mare decât în cazul generatorului de curent continuu cu excitație separată unde $U=(8-10)\%$ din U_N .

9. 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 , și se amorsează generatorul;
 - 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 sarcina de la valoarea $I=0$ la nominal ($I=I_N$), căderea de tensiune compensându-se prin creșterea curentului de excitație (variația reostatului de câmp), completându-se Tabelul 4.

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

Se trasează caracteristica de reglaj din fig. 5.

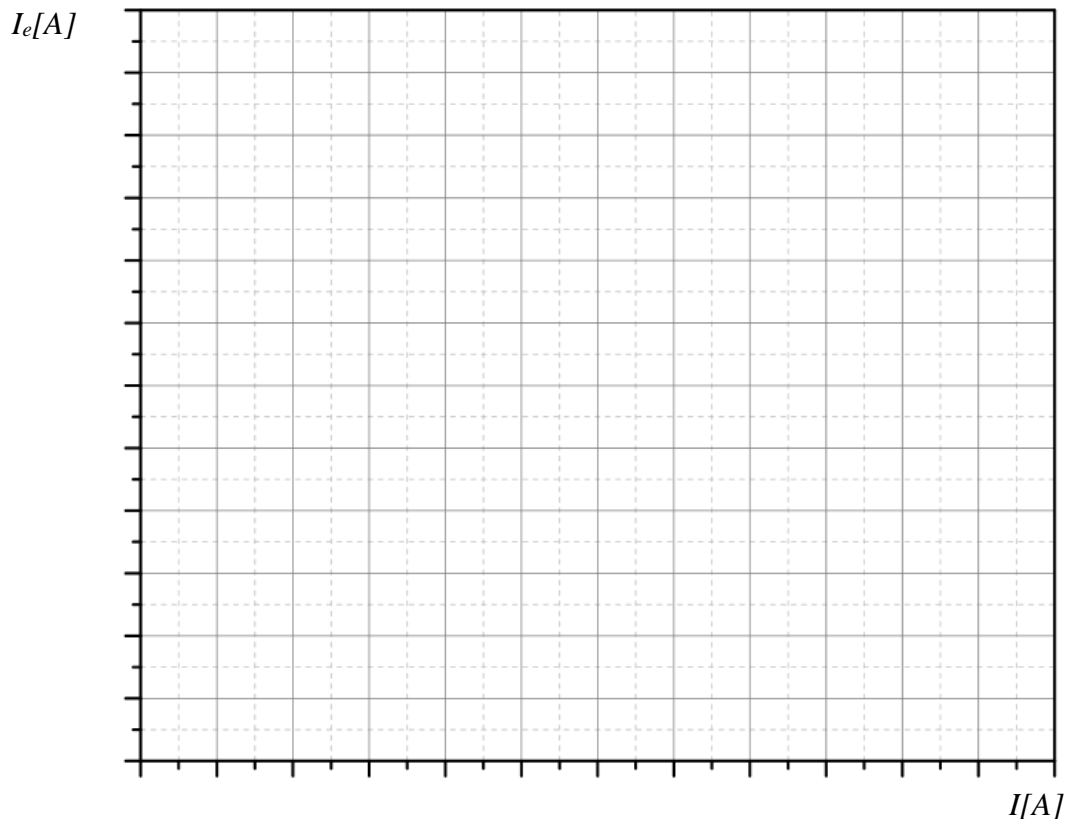


Fig. 5 – Caracteristica de reglaj

10. 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 , astfel generatorul se amorsează;
- 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.

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: $P_2 = U \cdot I [W];$

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

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

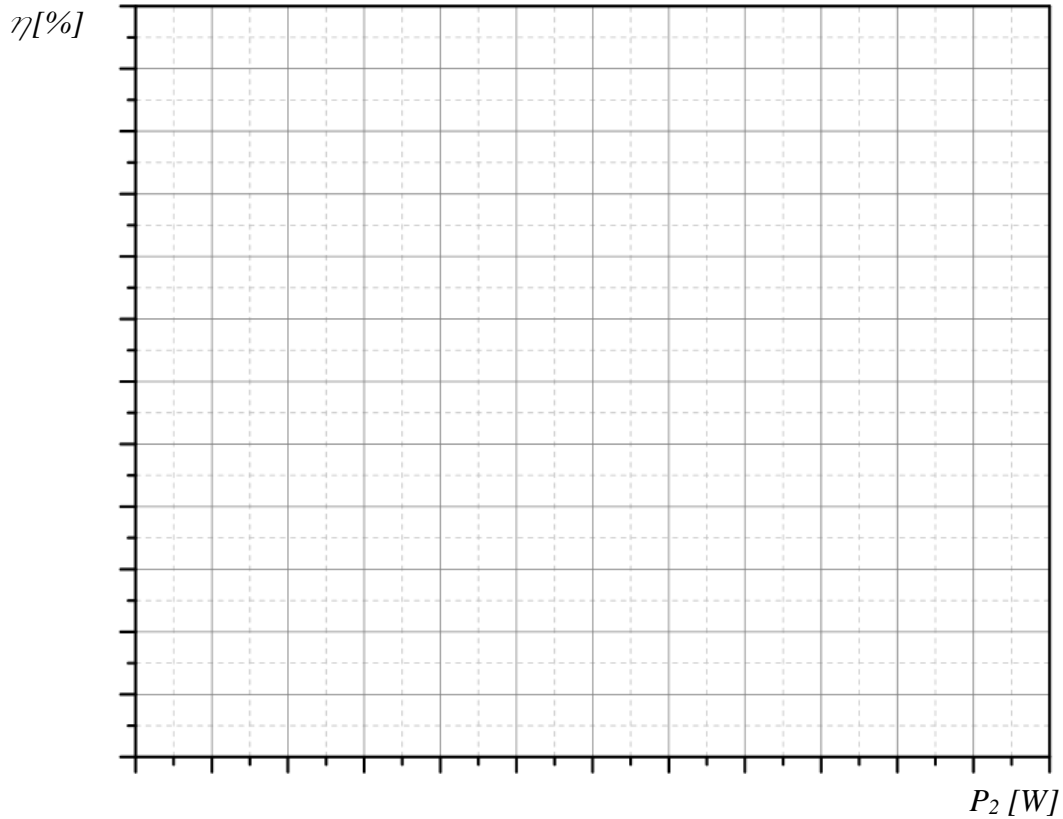


Fig. 6 – Caracteristica randamentului

Întrebări:

1. *Cu ce proporție scade tensiunea de la bornele generatorului la funcționarea în sarcină nominală comparativ cu funcționarea în gol?*
2. *Cum este caracteristica generatorului de curent continuu cu excitație derivație comparativ cu cea a generatorului de curent continuu cu excitație separată?*
3. *Ce avantaj oferă generatorul de curent continuu cu excitație derivație comparativ cu generatorul de curent continuu cu excitație separată?*
4. *Ce dezavantaje prezintă generatorul de curent continuu cu excitație derivație în funcționare cu sarcină variabilă?*

Laboratorul numărul 5

Generatorul de curent continuu cu excitație serie

Generatorul de curent continuu cu excitație serie este generatorul la care înfășurarea de excitație, plasată pe polii de excitație, se conectează în serie cu înfășurarea rotorică. În această configurație, înfășurarea de excitație este parcursă de același curent ce trece prin înfășurarea indusului, ea fiind realizată cu un număr mic de spire de secțiune mare. Acest generator, la fel ca generatorul de curent continuu cu excitație derivație, este cu autoexcitație, amorsarea lui făcându-se numai în sarcină.

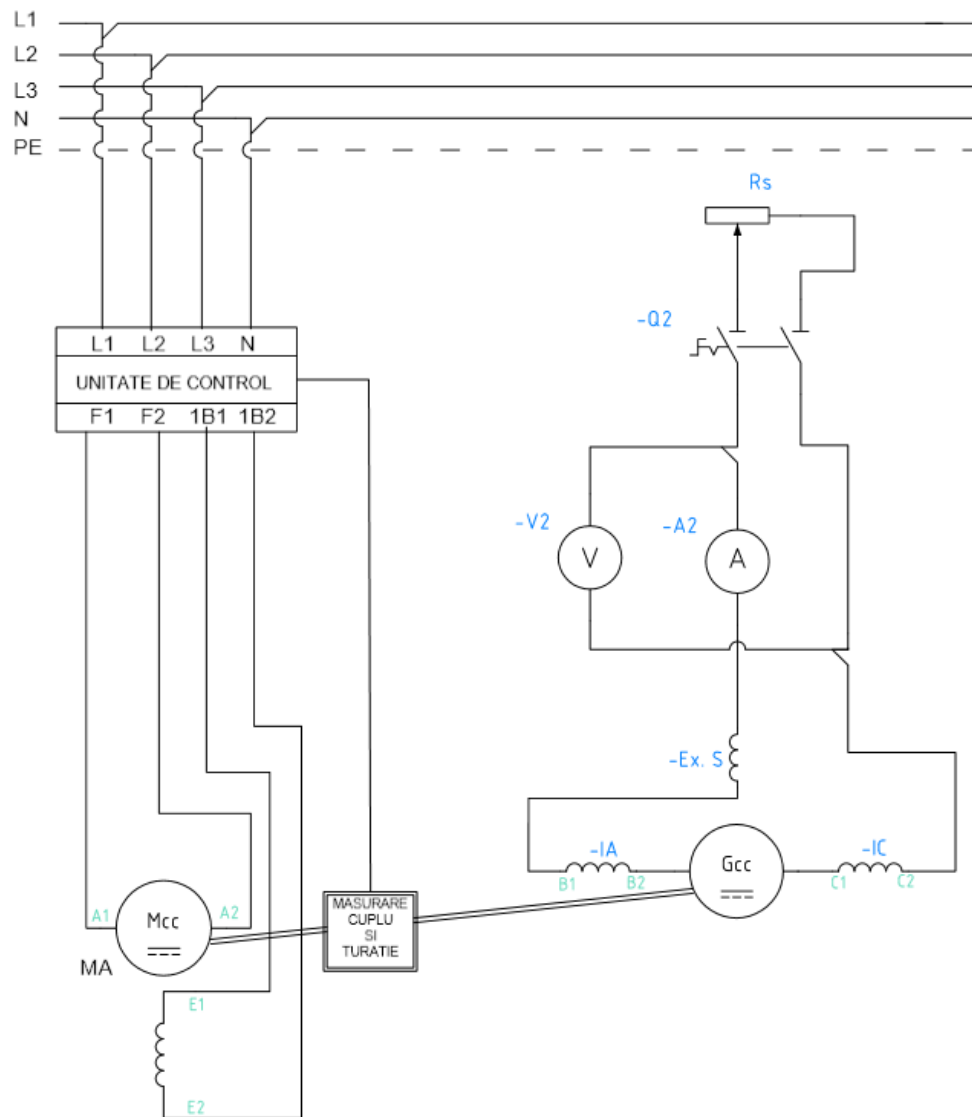


Fig.1 – Schema de încercări

Amorsarea generatorului de curent continuu cu excitație serie se poate realiza doar în următoarele condiții:

- **Generatorul trebuie să prezinte câmp magnetic remanent;**
- **Sensul fluxului creat de înfășurarea de excitație serie trebuie să fie în același sens cu al fluxului remanent;**
- **Valoarea rezistenței de sarcină trebuie să aibă o valoare mica astfel încât valoarea rezistenței întregului circuit de sarcină (indus, excitație și sarcină) să fie sub o valoare critică data;**

Pentru amorsarea generatorului cu excitație serie se procedează astfel:

- *Cu întrerupătorul Q_2 deschis se va antrena generatorul cu turație nominală prin intermediul mașinii de antrenare;*
- *Dacă circuitul magnetic statoric prezintă câmp magnetic remanent voltmetrul V_2 , conectat în paralel cu înfășurarea de rotorică, va indica o valoare a tensiunii.*
- *La o valoare mică a rezistenței de sarcină R_s , se închide întrerupătorul Q_2 , astfel, prin înfășurarea de excitație serie va circula un curent de sarcină, datorită tensiunii remanente generată de fluxul remanent din mașină; Acest curent va genera la rândul lui un flux adițional fluxului magnetic remanent. Prin sumarea celor două fluxuri curentul de sarcină va crește, acest proces continuând până ce la bornele indusului se va obține tensiunea de lucru pentru sarcina dată. În acest moment generatorul de curent continuu se consideră amorsat.*

OBSERVAȚIE: În funcționare, dacă rezistența de sarcină are valoare mare, generatorul se poate dezamorsa. De asemenea, deoarece curentul de excitație este același cu curentul de sarcină tensiunea la bornele generatorului poate varia în limite largi.

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 – Motor asincron alimentat de unitatea de control</i>	<i>Motor de antrenare – Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control</i>
<i>Gcc</i>	<i>Generator de curent continuu cu excitație serie:</i> - $n= 2040$ rot/min; - $I=4,8$ A	<i>Generator de curent continuu cu excitație serie:</i> - $n= 1500$ rot/min; - $I=5,7$ A
<i>Q₂</i>	<i>Întrerupător de sarcină</i>	<i>Întrerupător de sarcină</i>
<i>R_s</i>	<i>Reostat de sarcină 16 Ω</i>	<i>Reostat de sarcină 18 Ω</i>
<i>A₂</i>	<i>Ampermetru 10 A;</i>	<i>Ampermetru 10 A;</i>
<i>V₂</i>	<i>Voltmetru 300V;</i>	<i>Voltmetru 300V;</i>

Pentru acest generator se va trasa doar caracteristica externă – $U=f(I)$ - , după cum urmează:

- Se antrenează generatorul cu turație nominală constantă, întrerupătorul Q_2 fiind deschis; La bornele generatorului se poate măsura prin intermediul voltmetrului V_2 tensiunea remanentă rezultată datorită câmpului remanent din mașină;
- Se fixează R_s pe valoare mică astfel încât rezistența totală a circuitului indus, excitație, sarcină să fie sub valoarea critică.
- Se închide întrerupătorul Q_2 și astfel se amorsează;
- Se variază reostatul de sarcină R_s variind astfel curentul de sarcină completându-se astfel Tabelul numărul 1

Tabelul 1

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

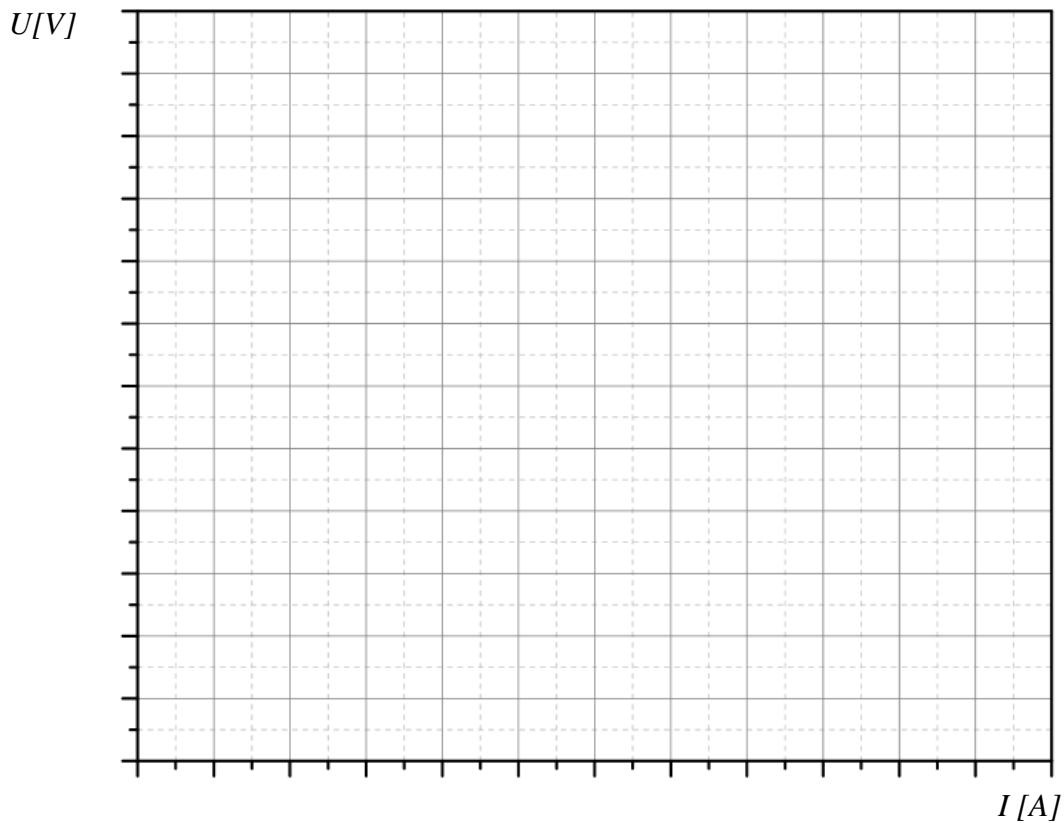


Fig. 2 – Caracteristica externă

Caracteristicile de mers în gol, de reglaj și de sarcină nu se pot trasa decât prin excitarea separată a mașinii.

Întrebări:

5. Ce se întâmplă cu tensiunea la bornele generatorului pentru curenți de sarcină mai mari decât curentul nominal?

Generatorul de curent continuu cu excitație mixtă

Generatorul de curent continuu cu excitație mixtă este generatorul la care fluxul de excitație este creat de două înfășurări:

- *înfășurarea de excitație derivație, care se conectează în paralel cu înfășurarea rotorică;*
- *înfășurarea de excitație serie, care se conectează în serie cu înfășurarea rotorică.*

În funcție de fluxurile create de cele două înfășurări pot fi, generatorul de curent continuu cu excitație mixtă poate fi avea două conexiuni:

- *mixt adițional, când câmpul creat de înfășurarea de excitație serie se suprapune peste câmpul creat de înfășurarea de excitație derivație;*
- *mixt diferențial, atunci când câmpul creat de înfășurarea de excitație serie slăbește câmpul creat de înfășurarea de excitație derivație.*

Acest generator, la fel ca generatorul de curent continuu cu excitație derivație, este cu autoexcitație, care în funcționare trebuie să treacă prin procesul de AMORSARE.

Amorsarea generatorului de curent continuu cu excitație mixtă se poate realiza doar în următoarele condiții:

- *Generatorul trebuie să prezinte câmp magnetic remanent;*
- *Sensul fluxului creat de înfășurarea de excitație derivație trebuie să fie în același sens cu al fluxului remanent;*
- *Valoarea reostatului de câmp trebuie să beneficieze o valoare mică astfel încât valoarea rezistenței întregului circuit de excitație să fie sub o valoare critică dată;*

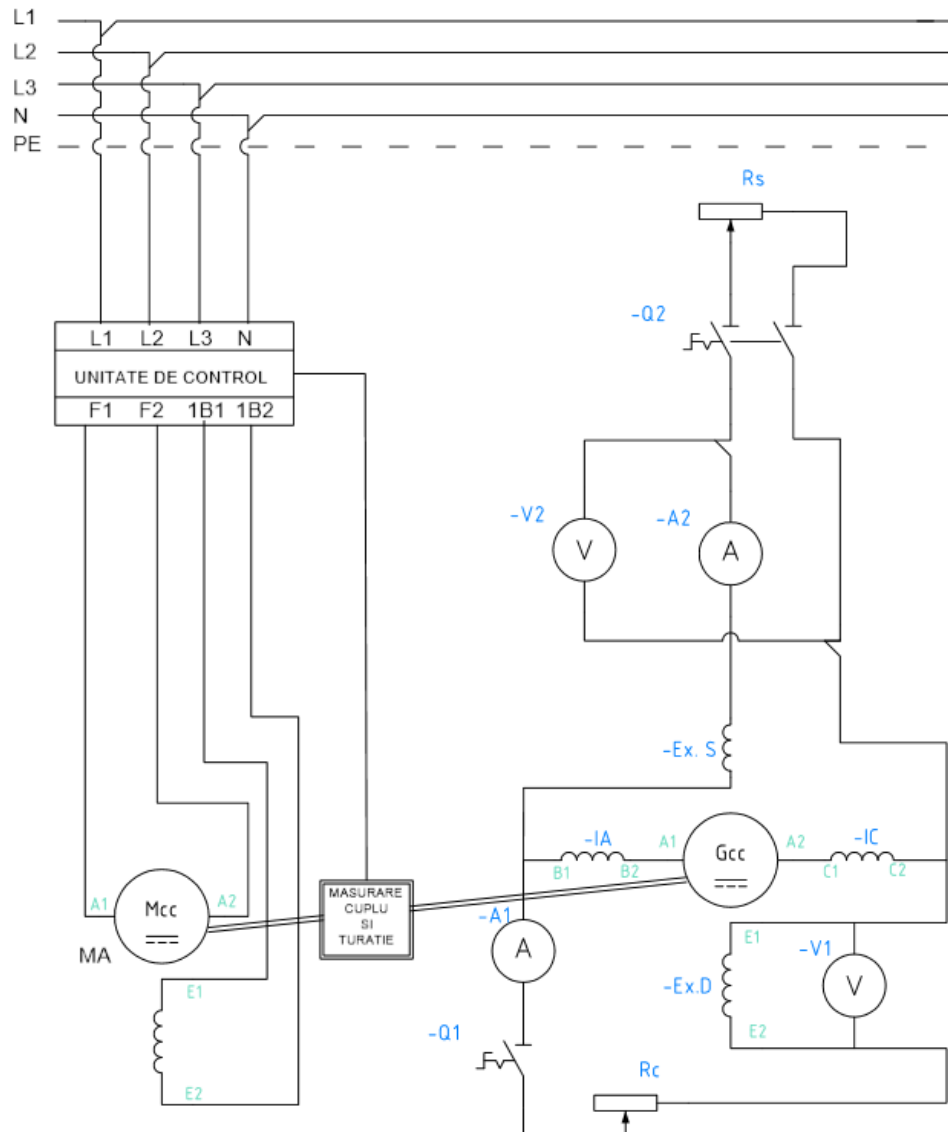


Fig.1 – Schema de încercări

Pentru amorsarea generatorului cu excitație derivație se procedează astfel:

- Cu întrerupătoarele Q_1 și Q_2 deschise se va antrena generatorul cu turație nominală cu mașina de antrenare;
- Dacă circuitul magnetic statoric prezintă câmp magnetic remanent voltmetrul V_2 , conectat în paralel cu înfășurarea indusului, va indica o tensiune $E_{0rem} = (3-8\%) * U_N$;
- Închizând întrerupătorul Q_1 , prin înfășurarea de excitație derivație va circula un curent datorită tensiunii remanente generată de fluxul remanent din mașină; Acest curent va genera la rândul lui un flux adițional fluxului magnetic remanent. Prin sumarea celor două fluxuri curentul de excitație va crește, acest proces continuând până ce la bornele

indusului se va obține tensiunea de mers în gol E_0 . În acest moment generatorul de curent continuu se consideră amorsat.

OBSERVAȚIE: În situația în care generatorul nu posedă câmp magnetic remanent sau fluxul creat de tensiunea remanentă este invers sensului fluxului remanent atunci curentul prin înfășurarea de excitație, măsurat cu ampermetrul A_1 , este nul.

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
Gcc	Generator de curent continuu cu excitație derivație: - $n= 2800$ rot/min; - $I_e=0,5$ A	Generator de curent continuu cu excitație derivație: - $n= 1500$ rot/min; - $I_e=0,65$ A
Uex	Sursă de curent continuu pentru excitație: - $U= 220$ V; - $I_{max} = 0,8$ A	Sursă de curent continuu pentru excitație: - $U= 220$ V; - $I_{max} = 0,8$ 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;
A_2	Ampermetru 10 A;	Ampermetru 10 A;
V_1	Voltmetru 300 V;	Voltmetru 300 V;
V_2	Voltmetru 300 V;	Voltmetru 300 V;

În continuare se vor realiza mai multe încercări experimentale pentru a trasa caracteristicile de funcționare ale generatorului de curent continuu cu excitație mixtă, după cum urmează:

11. 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 $I=0$.

Datorită fenomenului de autoexcitare caracteristica de mers în gol se trasează doar parțial deoarece o creștere prea mare a reostatului de câmp va duce la o scădere a curentului de excitație. Astfel generatorul se poate dezamorsa.

Pentru a trasa această caracteristică se procedează astfel:

- Se antrenează generatorul cu turație nominală constantă, întreprupătoarele 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 , și se citește tensiunea de mers în gol a generatorului E_0 ;
- Se variază curentul de excitație în sens descrescător variind crescând valoarea rezistenței reostatului R_c până se ajunge ca tensiunea generată să fi aproximativ egală cu tensiunea generată remanentă, E_{0rem} . Astfel se completează tabelul 1.

Tabelul 1

$I_e[A]$								0
$E_0[V]$								E_{0rem}

Se trasează caracteristica de mers în gol cu valorile rezultate în Fig. 2

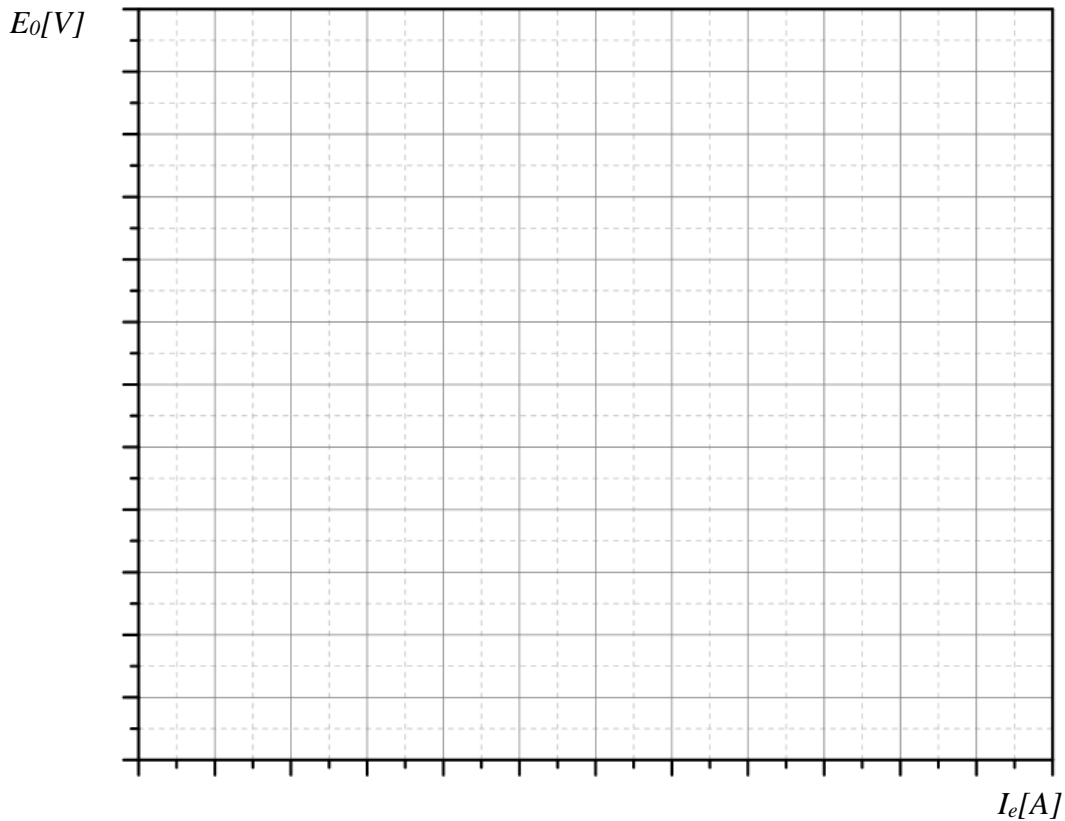


Fig. 2 – Caracteristica de mers în gol

12. 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 , și se amorsează generatorul.
- 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 $U=U_N$ 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 o valoare minimă, 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.

OBSERVAȚIE: - o valoare prea mică a curentului de excitație ar duce la dezamorsarea generatorului, acest fenomen fiind mult mai pronunțat decât la generatorul cu excitație separată.

Tabelul 2

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

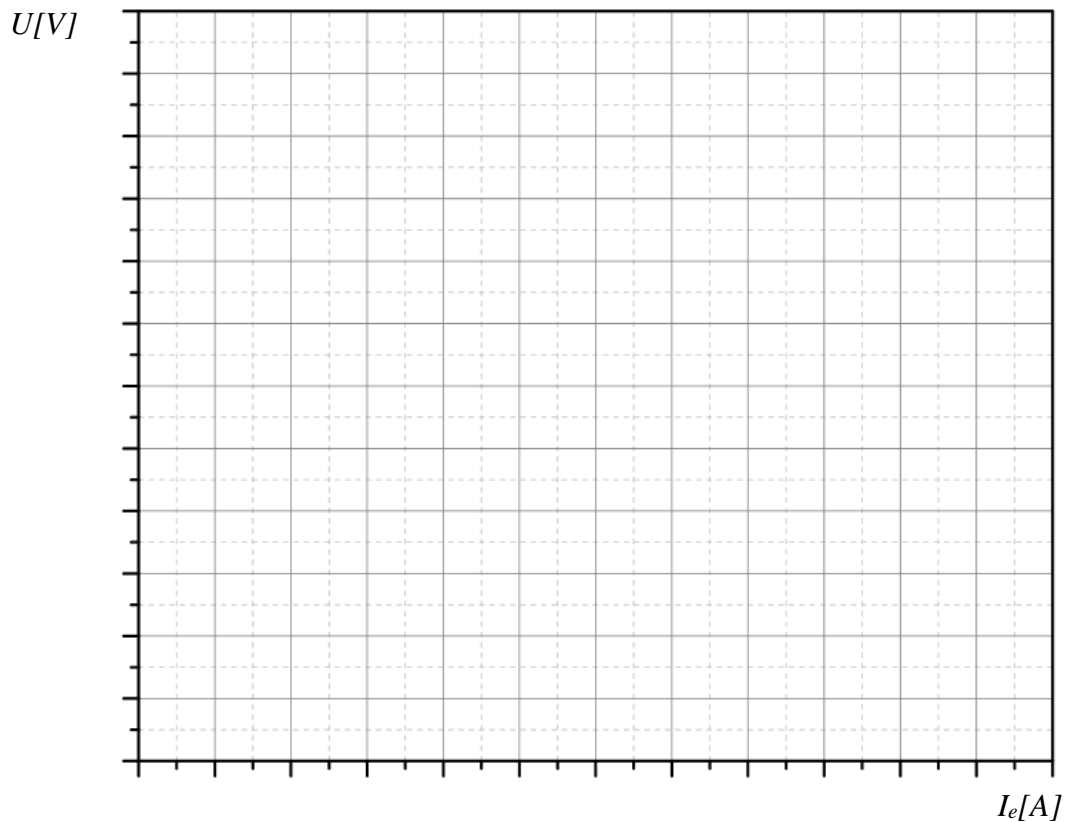


Fig. 3 - Caracteristica de sarcină

13. Caracteristica de externă $-U=f(I)$ - se trasează păstrând constante curentul de excitație și turația aplicată generatorului. Această caracteristică se trasează pentru cele două tipuri de montaje: mixt adițional și mixt diferențial.

- Se antrenează generatorul cu turație nominală constantă, întrerupătoarele Q_1 și Q_2 fiind deschise;
- Se amorsează generatorul prin închiderea întrerupătorului Q_1 și se variază R_c până acela bornele generatorului se obține tensiunea nominală $U=U_N$.
- Se poziționează reostatul de sarcină R_s pe valoare maximă și se închide întrerupătorul Q_2 .
- Se modifică curentul de sarcină în sens crescător variind reostatul de sarcină R_s , păstrând reostatul de câmp R_c la aceeași valoare. În tot acest timp se completează tabelul 3 variind curentul de sarcină până ce acesta atinge valoarea nominală $I=I_N$;

Tabelul 3-Mixt adițional

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

Tabelul 3-Mixt diferențial

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

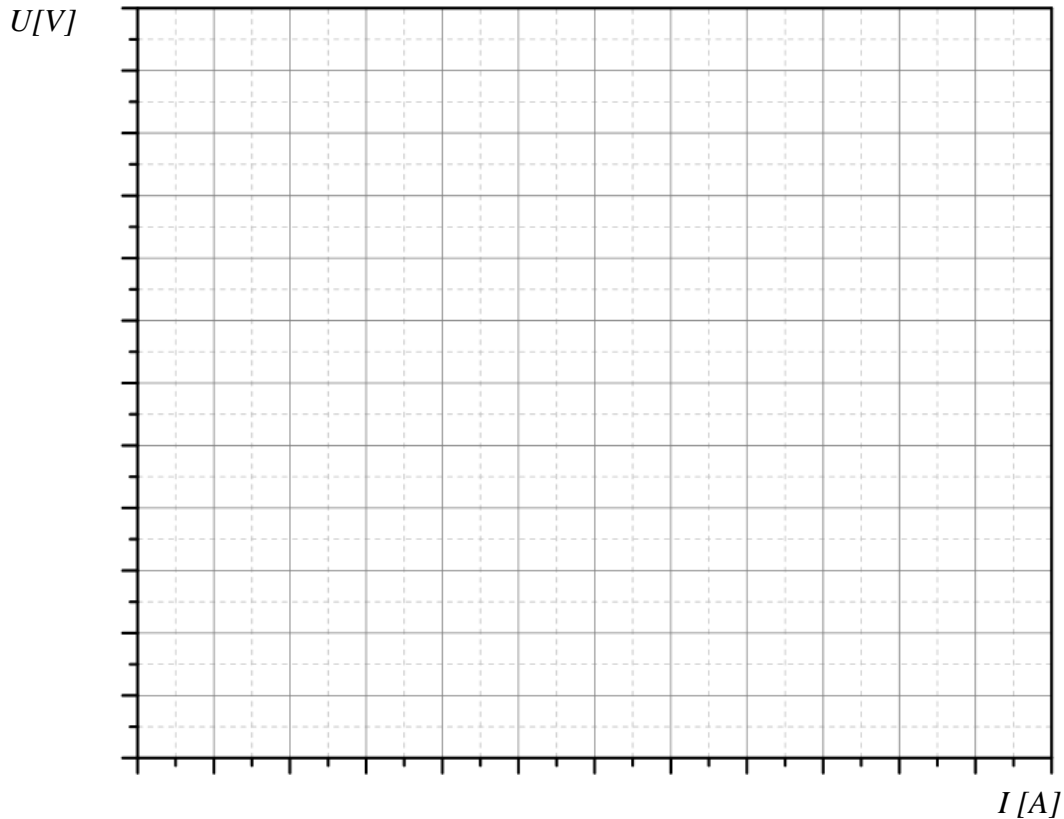


Fig. 4 – Caracteristica externă

14. 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 , și se amorsează generatorul;
- 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 valoarea $I=0$ la nominal ($I=I_N$), căderea de tensiune compensându-se prin creșterea curentului de excitație (variația reostatului de câmp), 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.

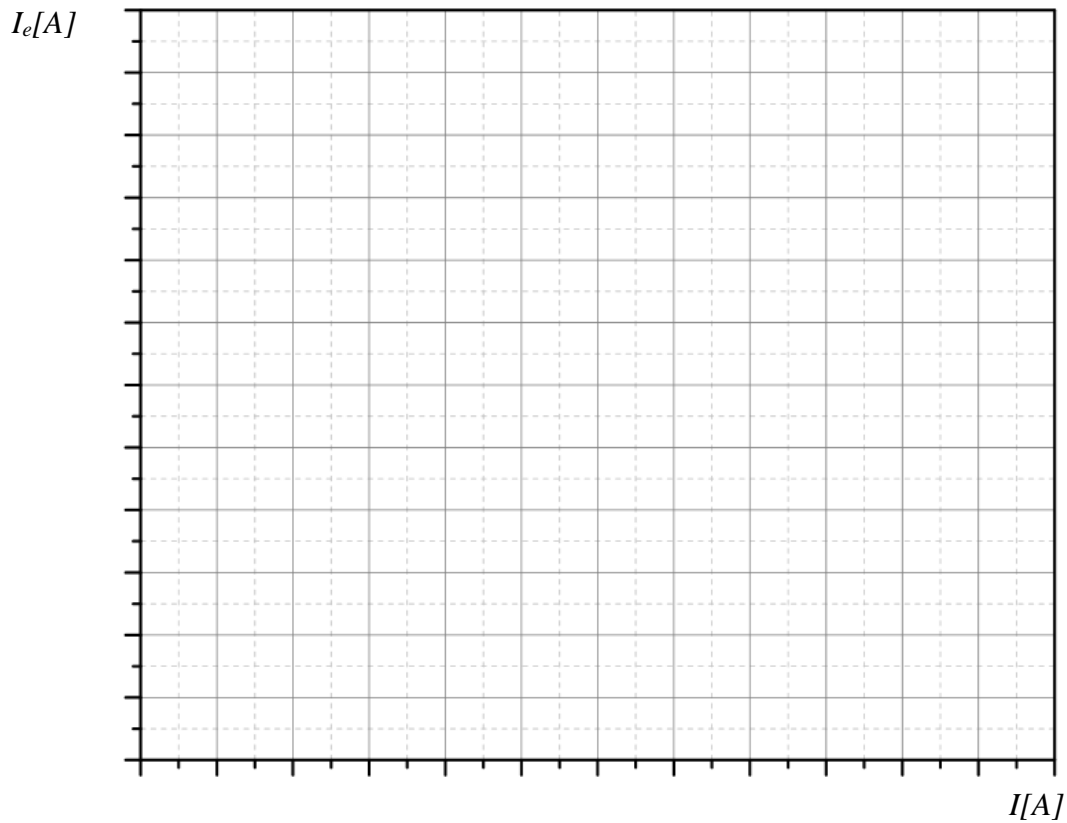


Fig. 5 – Caracteristica de reglaj

Întrebări:

6. Ce se întâmplă cu căderea de tensiune pentru generatorul cu excitație mixtă în conexiune adițional comparativ cu căderea de tensiune la generatorul cu excitație derivație?
7. Ce se constată dacă se înfășurarea de excitație serie are un număr mai mare de spire?
8. Cum este căderea de tensiune la generatorul cu excitație mixt diferențial și la ce s-ar putea folosi acest generator?

Laboratorul numărul 6

Motorul de curent continuu cu excitație derivație

Funcționarea ca motor a mașinii de curent continuu presupune alimentarea cu tensiune continuă a înfășurării rotorice.

Motorul de curent continuu cu excitație derivație este motorul la care înfășurarea de excitație, plasată pe polii principali, se conectează în paralel cu înfășurarea rotorică. În această configurație, tensiunea aplicată înfășurării de excitație este egală cu tensiunea aplicată la bornele înfășurării rotorice (specificată pe plăcuța indicatoare).

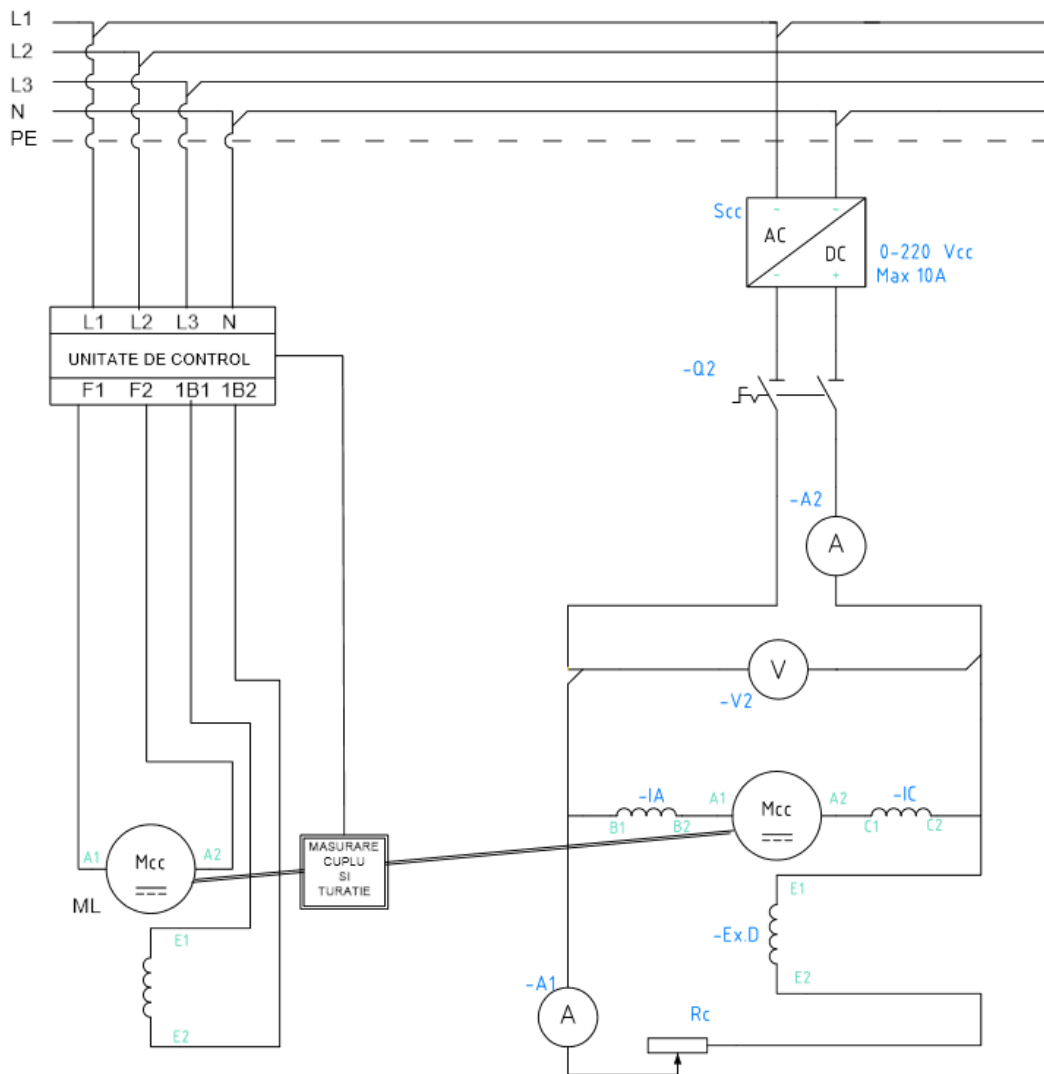


Fig.1 – Schema de încercări

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 frână – Motor asincron alimentat de unitatea de control	Motor frână – Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control
Mcc	Motor de curent continuu cu excitație derivație: - $n= 2040$ rot/min; - $U=220$ V - $I=4,8$ A - $I_e=0,24$ A	Motor de curent continuu cu excitație derivație: - $n= 1500$ rot/min; - $U=220$ V - $I=5,7$ A - $I_e=0,45$ A
Sc	Sursă de curent continuu: - $U= 0-220$ V; - $I_{max} = 10$ A	Sursă de curent continuu: - $U= 0-220$ V; - $I_{max} = 10$ A
Q_2	Întreprător	Întreprător
R_c	Reostat de câmp 100Ω	Reostat de câmp 200Ω
A_1	Ampermetru 1 A;	Ampermetru 1 A;
A_2	Ampermetru 10 A;	Ampermetru 10 A;
V_2	Voltmetru 300 V;	Voltmetru 300 V;

În continuare se vor realiza mai multe încercări experimentale pentru a trasa caracteristica naturală și caracteristicile artificiale ale motorului de curent continuu cu excitație derivație, după cum urmează:

15. Caracteristica de mers în gol – $n=f(I_e)$ - se trasează păstrând constantă tensiunea de alimentare a motorului și sarcina aplicată la arbore având valoarea $M=0$.

Pentru a trasa această caracteristică se procedează astfel:

- Se poziționează reostatul de câmp pe valoare minimă.
- Se închide întreprătorul Q_2 ;
- Se variază tensiunea de alimentare până ce valoarea tensiunii indicată de voltmetrul V_2 , să fie cea nominală, indicată pe plăcuța indicatoare.
- Pentru a evita creșterea curentului de excitație peste valoarea nominală se va urmări indicația ampermetrului A_1 și crește rezistența reostatului de câmp.
- Se variază curentul de excitație, măsurat de ampermentul A_1 în sens descrescător, crescând valoarea rezistenței de câmp, și se citește turația motorului. Trebuie avut în vedere ca turația motorului să nu depășească de $1,5$ ori turația nominală. Astfel se completează tabelul 1.

Tabelul 1

$I_e[A]$								
$n[\text{rot}/\text{min}]$								

Se trasează caracteristica de mers în gol cu valorile rezultate, în Fig. 2

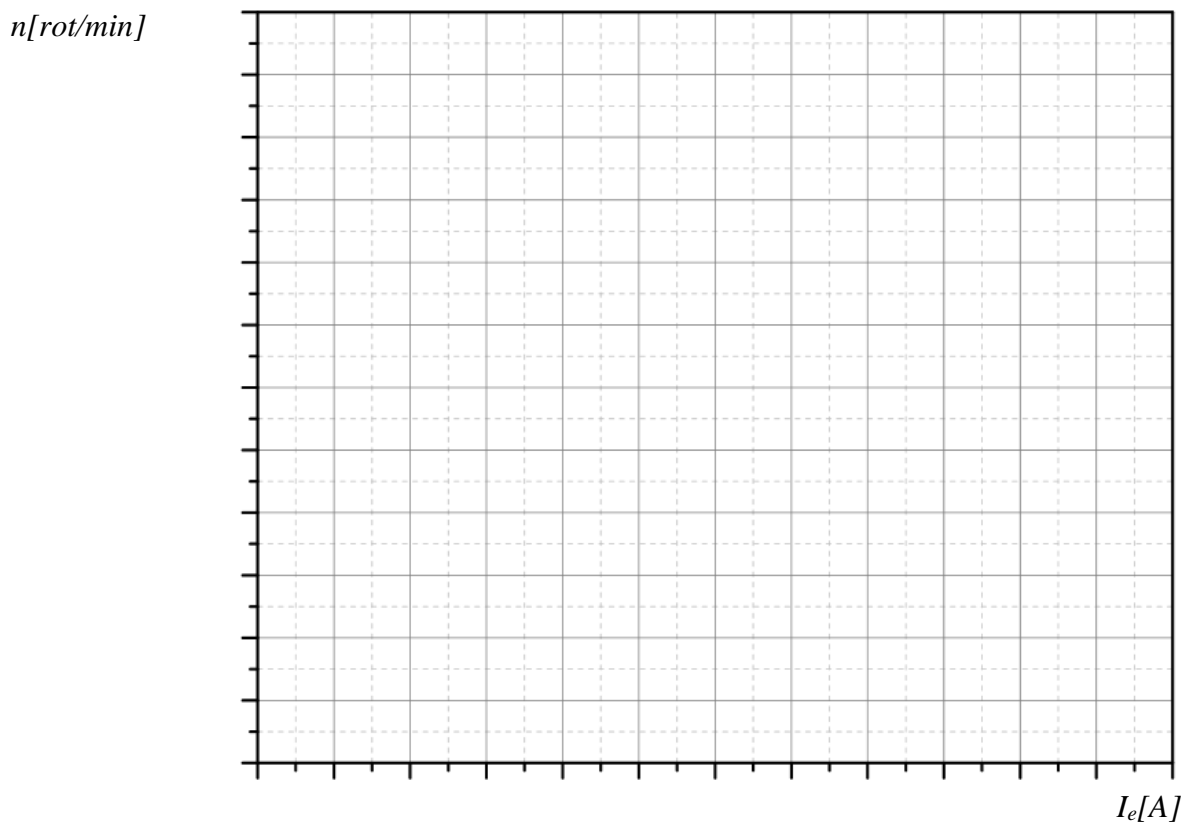


Fig. 2 – Caracteristica de mers în gol

16. Caracteristica de sarcină $n=f(I)$ - se trasează păstrând constant curentul de excitație.
- Se poziționează reostatul de câmp pe valoare minimă.
 - Se închide întrerupătorul Q_2 ;
 - Se variază tensiunea de alimentare până ce valoarea tensiunii indicată de voltmetrul V_2 , să fie cea nominală, indicată pe plăcuța indicatoare.
 - Pentru a evita creșterea curentului de excitație peste valoarea nominală se va urmări indicația ampermetrului A_1 și crește rezistența reostatului de câmp. Se fixează astfel ca valoarea curentului de excitație să fie cea nominală.
 - Se crește cuplul rezistent, notând de fiecare dată valoarea curentului total consumat până ce acesta ajunge la valoare nominală $I=I_N$; Astfel se completează tabelul 2 și se trasează caracteristica de sarcină a motorului, descrisă în Figura 3.

În tabelul de mai sus:

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

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

Puterea consumată la borne: $P_1 = U_1 * I_1 [W];$

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

- Se trasează caracteristicile de funcționare după cum urmează:

$$A) n=f(P_2)$$

$$B) I_1=f(P_2)$$

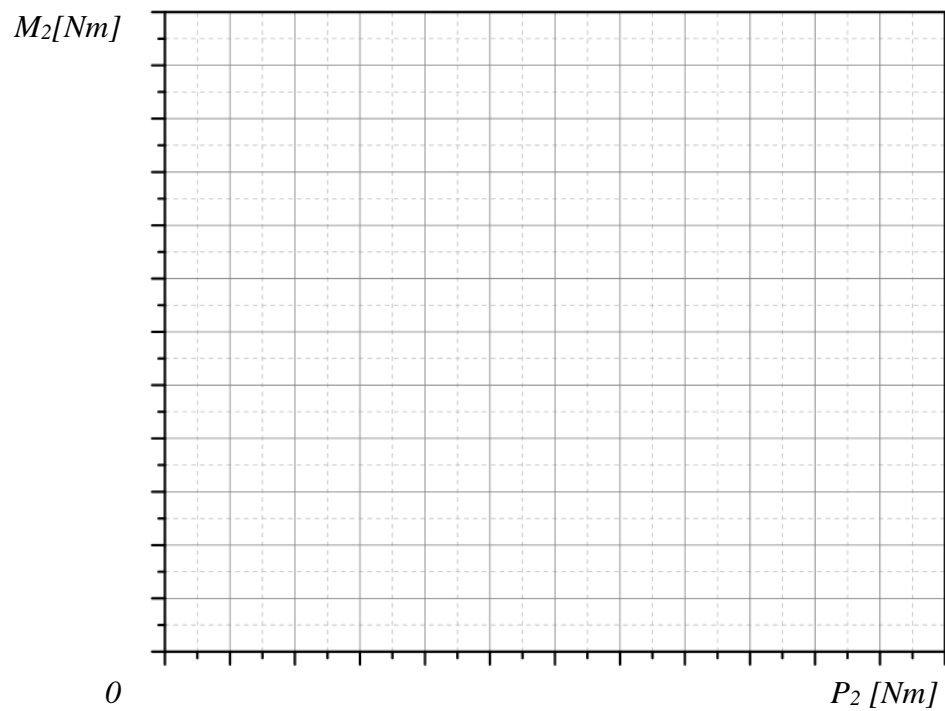


Fig. 4 – Caracteristica de turației în funcție de puterea utilă

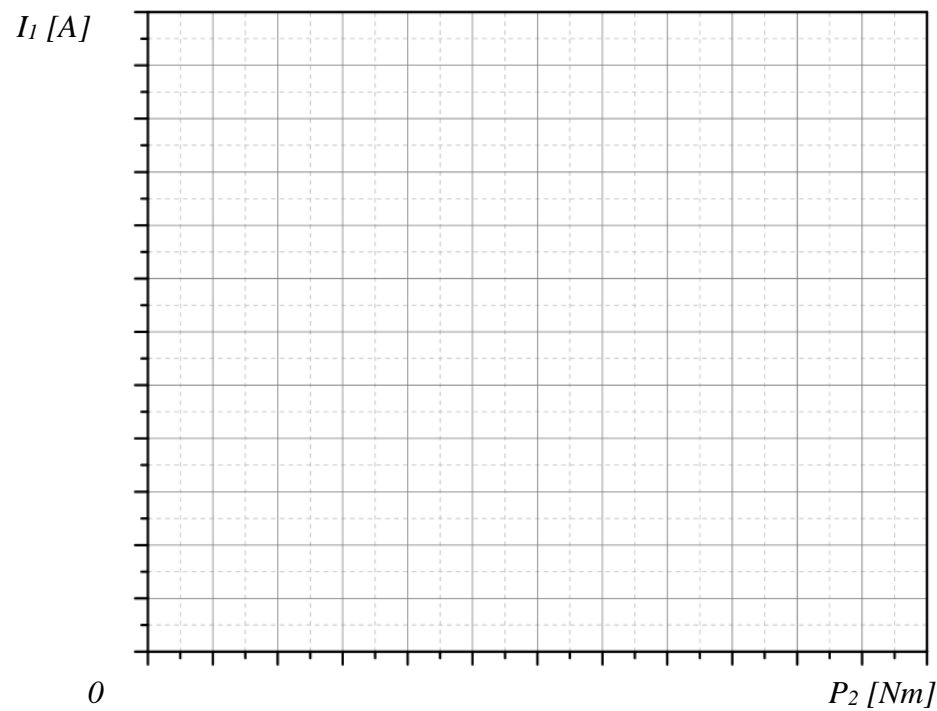


Fig. 5 – Caracteristica curentului în funcție de putere utilă

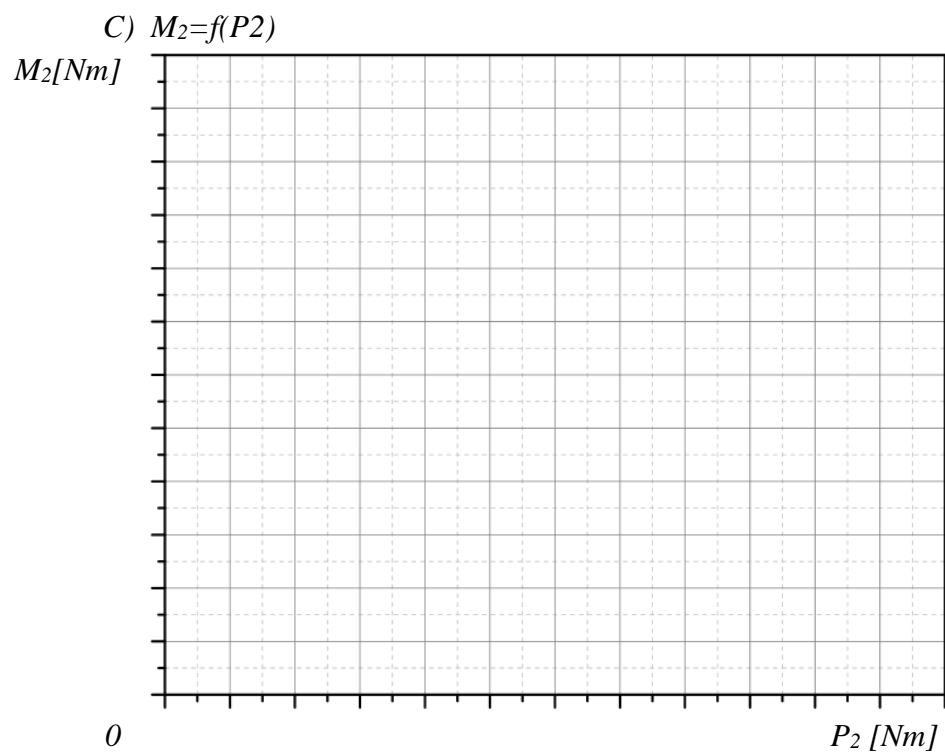


Fig. 6 – Caracteristica de cuplu în funcție de puterea utilă

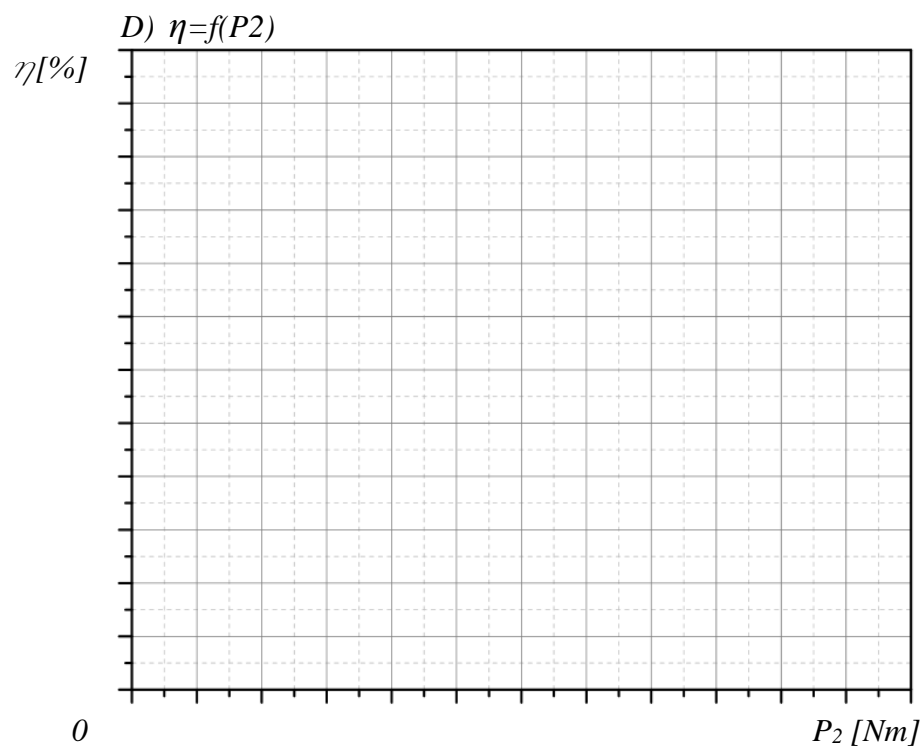


Fig. 7 – Caracteristica randamentului

Laboratorul numărul 7

Motorul de curent continuu cu excitație serie

Motorul de curent continuu cu excitație serie este motorul la care înfășurarea de excitație, plasată pe polii principali, se conectează în serie cu înfășurarea rotorică. În această conexiune, curentul ce trece prin înfășurarea de excitație are valoarea curentului ce trece prin înfășurarea indusului și respectiv valoarea curentului total absorbit de motor.

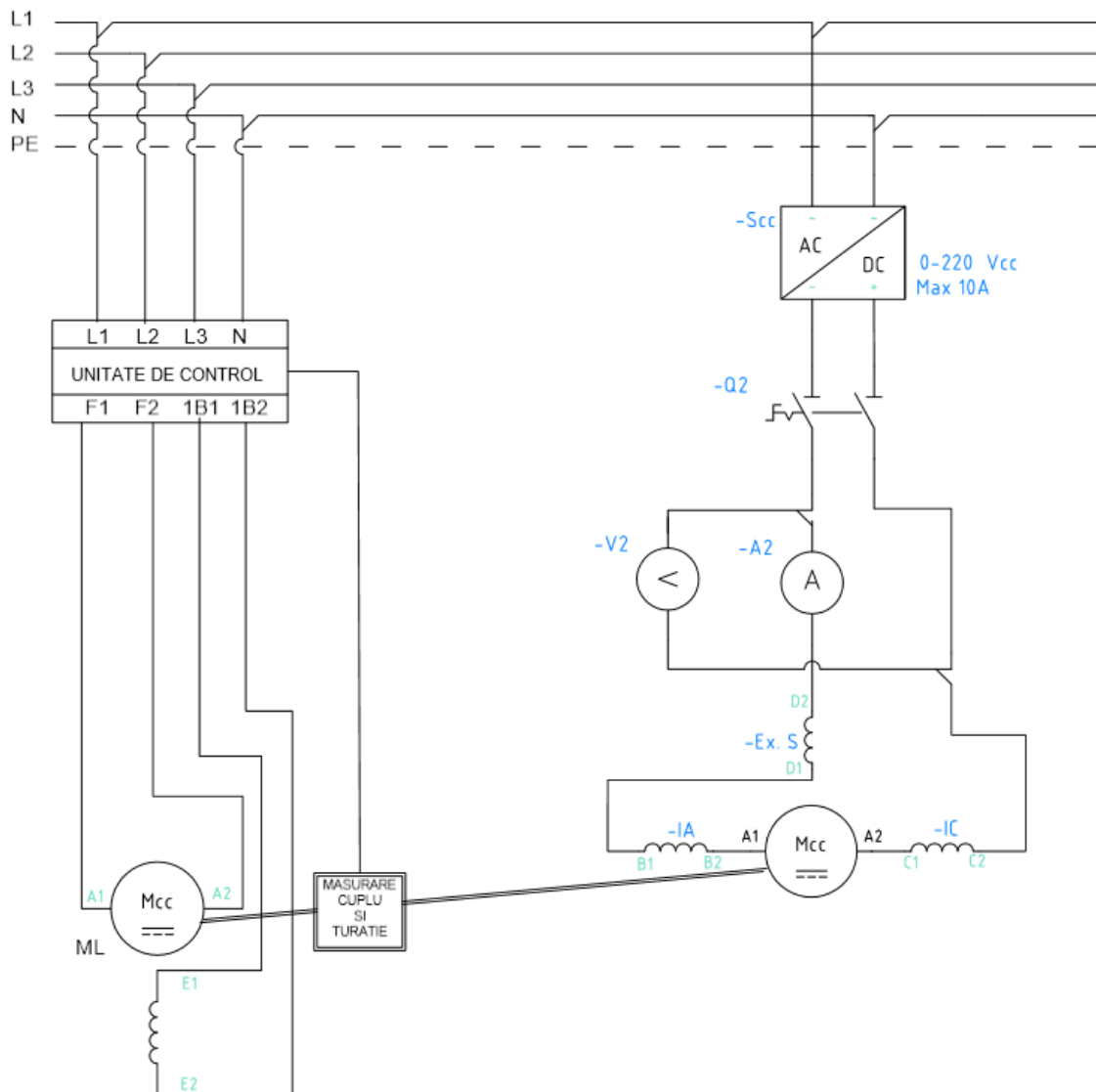


Fig.1 – Schema de încercări

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
ML	Motor frână – Motor asincron alimentat de unitatea de control	Motor frână – Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control
MA	Motor de curent continuu cu excitație serie: - $n= 2040$ rot/min; - $U=220$ V - $I=5,5$ A - $I_e=0,24$ A	Motor de curent continuu cu excitație serie: - $n= 1500$ rot/min; - $U=220$ V - $I=5,5$ A - $I_e=0,45$ A
Scc	Sursă de curent continuu: - $U= 220$ V; - $I_{max} = 10$ A	Sursă de curent continuu: - $U= 220$ V; - $I_{max} = 10$ A
Q_2	Întreprupător	Întreprupător
R_p	Reostat de pornire 100Ω	Reostat de pornire 100Ω
A_2	Ampermetru 10 A;	Ampermetru 10 A;
V_2	Voltmetru 300 V;	Voltmetru 300 V;

Deoarece în momentul pornirii, înfășurarea de excitație, este parcursă de curentul din indus, care are valoare mică, apare fenomenul de ambalare a mașinii. Acest fenomen se deduce din expresia turației motorului de curent continuu:

$$n = \frac{U - R_A * I_A}{K_E * \Phi}$$

De aceea, motorul cu excitație serie se va porni întotdeauna doar în sarcină.

19. Caracteristica de sarcină $-n=f(I)$ - Această caracteristică reprezintă dependența turației în funcție de curentul absorbit odată cu creșterea sarcinii rezistente la arbore.

În acest caz se urmărește păstrarea constantă a tensiunii la bornele motorului.

- Se închide întrerupătorul Q_2 și se variază tensiunea de alimentare a motorului, în tot acest timp monitorizând curentul absorbit sa nu depășească valoarea nominală.
- Pentru a evita ambalarea motorului se introduce cuplu rezistent și se va continua cu creșterea tensiunii de alimentare urmărind valoarea curentului consumat să nu depășească valoare nominală $I=I_N$;
- Odată ajunși la tensiunea nominală de alimentare și curentul nominal absorbit se descrește sarcina motorului până ce turația motorului atinge valoarea maximă specificată pe plăcuța indicatoare. Astfel se completează tabelul 1 și se trasează caracteristica de sarcină a motorului, descrisă în Figura 2.

Tabelul 1

$I [A]$									
$n[\text{rot/min}]$									

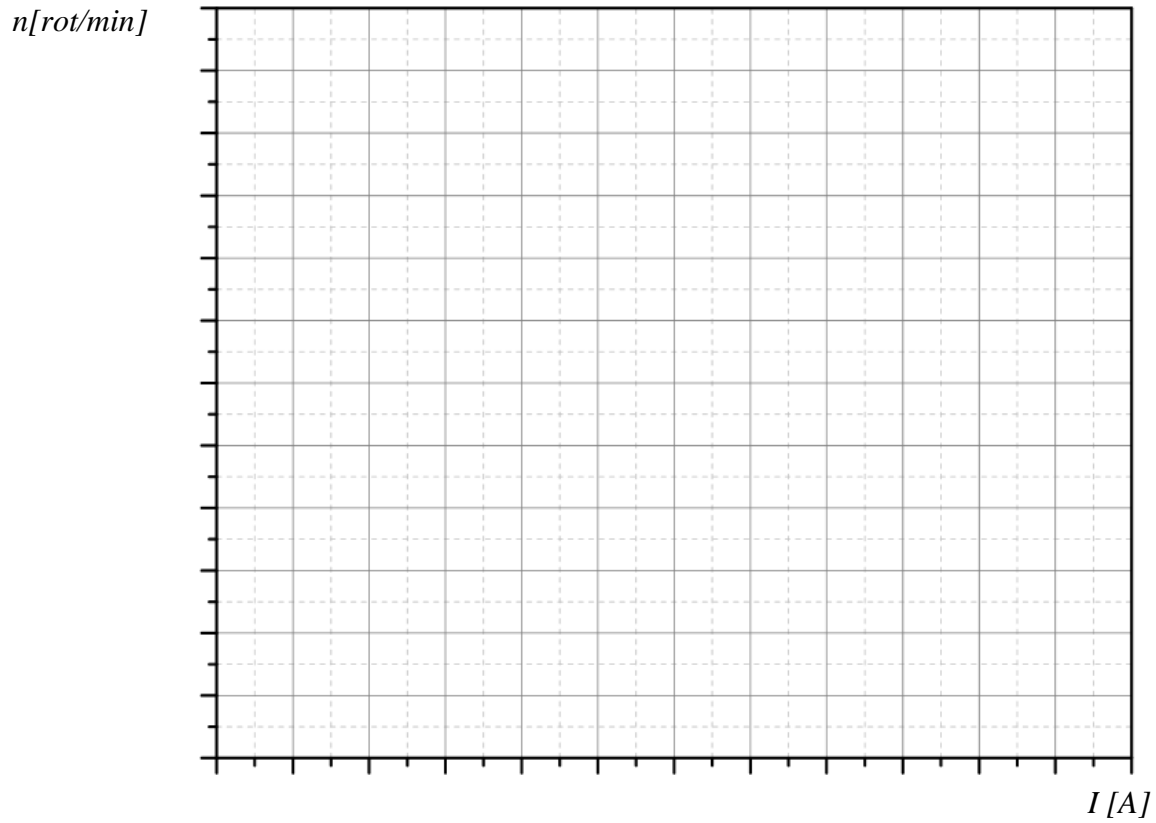


Fig. 2 - Caracteristica de sarcină

20. Caracteristica mecanică (caracteristica naturală) – $n=f(M_2)$ - se trasează în mod similar caracteristicii de sarcină. Astfel se completează tabelul 2 și se trasează caracteristica în figura 3.

Tabelul 2

$M_2 [Nm]$									
$n [\text{rot/min}]$									

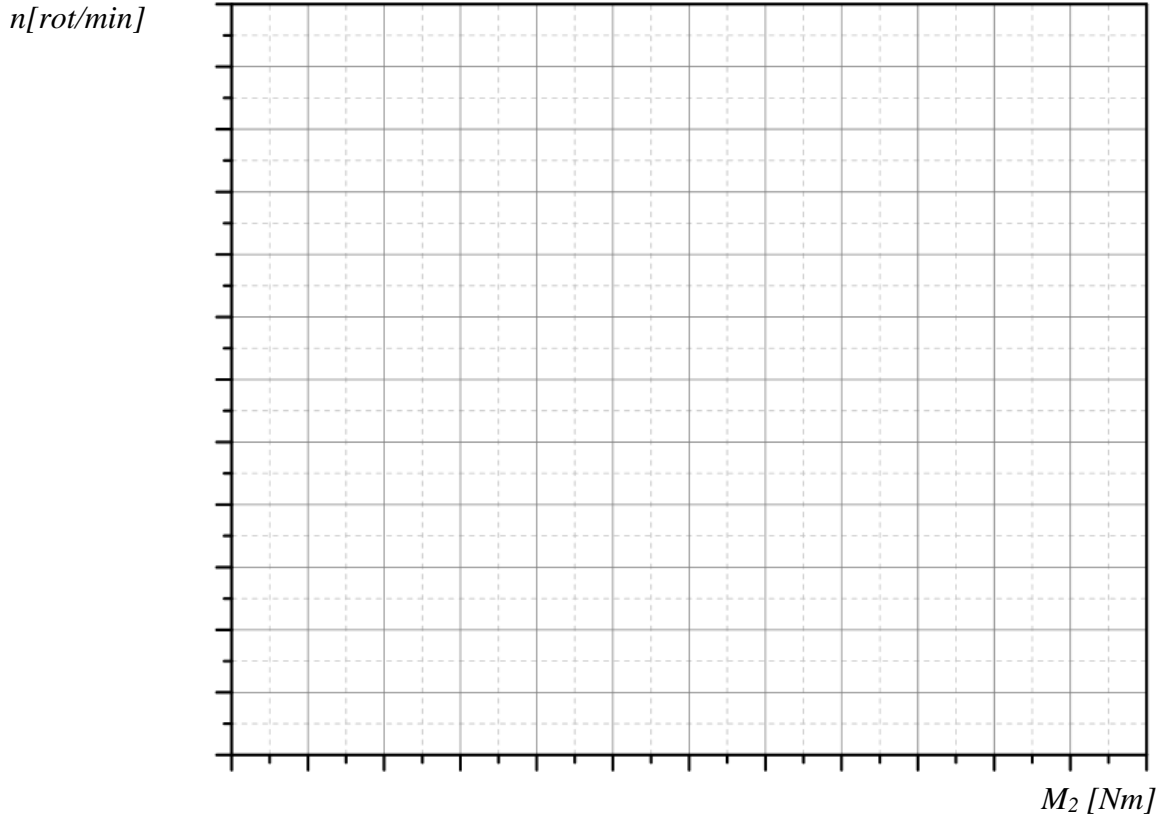


Fig. 3 – Caracteristica mecanică

Se observă că această caracteristică este una elastică, în care produsul dintre viteză și cuplu rezistent este aproximativ constant. Practic puterea dezvoltată de motor, odată cu creșterea sarcinii, este constantă.

21. *Caracteristicile de funcționare – $n=f(P_2), M_2=f(P_2)$, și respectiv, $\eta=f(P_2)$ – aceste caracteristici se trasează menținând constantă tensiunea la bornele indusului motorului.*

Se procedează similar trasării caracteristicii de sarcină. După ce motorul a ajuns la curent nominal absorbit, cuplul rezistent se descrește până ce turația a depășit valoarea maximă admisibilă, descrisă pe plăcuța indicatoare.

Astfel se completează Tabelul 3.

Tabelul 3

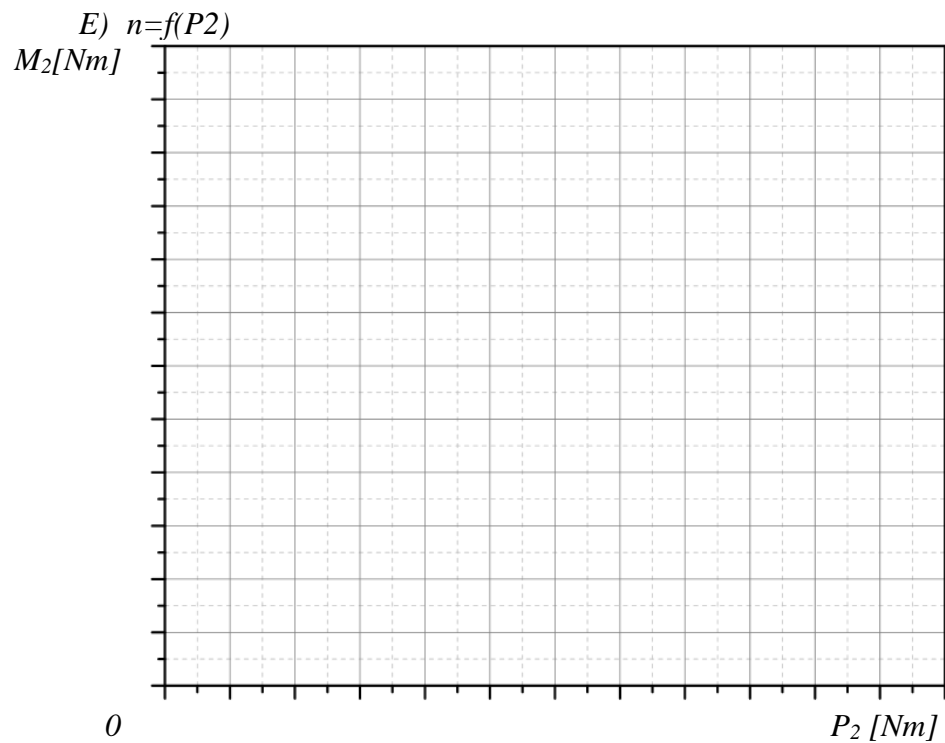


Fig. 4 – Caracteristica de turației în funcție de puterea utilă

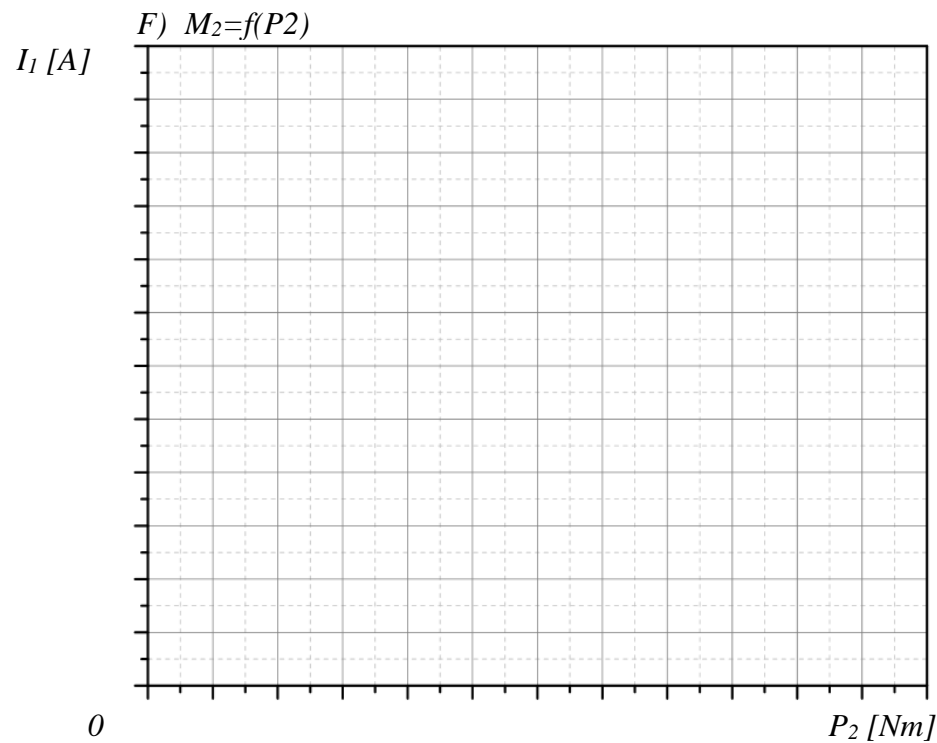
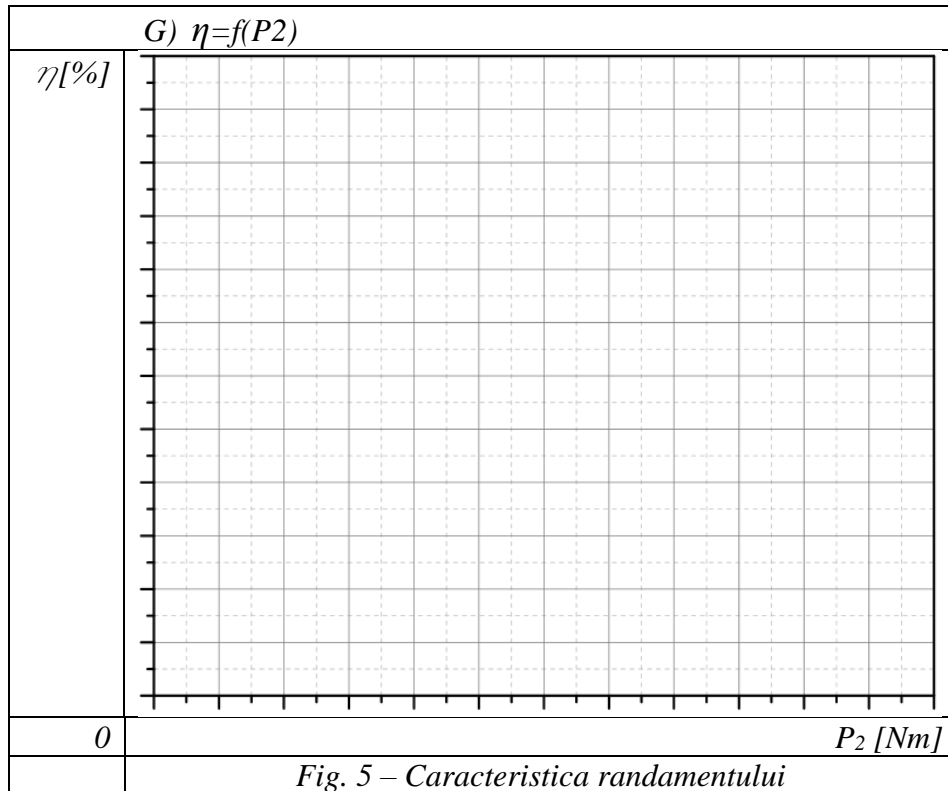


Fig. 5 – Caracteristica de cuplu în funcție de puterea utilă



Întrebări:

- 1. În ce aplicații ar putea fi folosit acest motor?*
- 2. De ce nu se poate porni în gol motorul de curent continuu cu excitație serie?*
- 3. Cum variază puterea mecanică utilă odată cu creșterea sarcinii la arbore, în cazul motorului de curent continuu cu excitație serie?*

Laboratorul numărul 8

Motorul de curent continuu cu excitație mixtă

Motorul de curent continuu cu excitație mixtă prezintă două înfășurări distincte plasate pe polii principali: cea derivație care se conectează în paralel cu înfășurarea rotorică și o înfășurare care se conectează în serie cu înfășurarea rotorică.

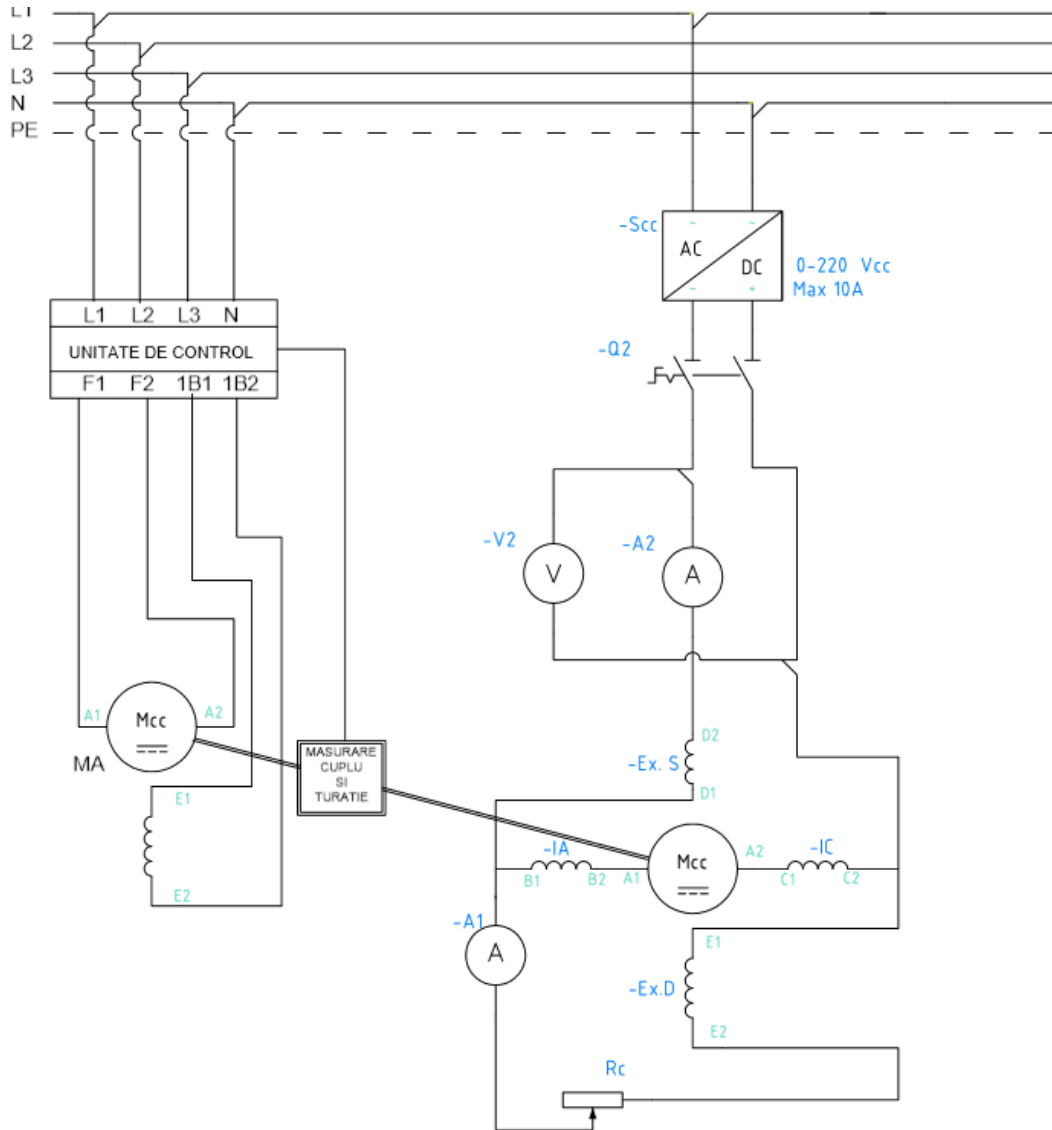


Fig.1 – Schema de încercări

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 frână – Motor asincron alimentat de unitatea de control	Motor frână – Motor de curent continuu alimentat de unitatea de control
Mcc	Motor de curent continuu cu excitație derivație: - $n= 2040$ rot/min; - $U=220$ V - $I=4,8$ A - $I_e=0,24$ A	Motor de curent continuu cu excitație derivație: - $n= 1500$ rot/min; - $U=220$ V - $I=5,7$ A - $I_e=0,45$ A
Scc	Sursă de curent continuu: - $U= 0-220$ V; - $I_{max} = 10$ A	Sursă de curent continuu: - $U= 0-220$ V; - $I_{max} = 10$ A
Q_2	Întreprupător	Întreprupător
R_c	Reostat de câmp 100Ω	Reostat de câmp 200Ω
A_1	Ampermetru 1 A;	Ampermetru 1 A;
A_2	Ampermetru 10 A;	Ampermetru 10 A;
V_2	Voltmetru 300 V;	Voltmetru 300 V;

Din ecuația turației motorului de curent continuu:

$$n = \frac{U - R_A * I_A}{K_E * (\Phi_D \pm \Phi_S)}$$

rezultă că în funcție de ponderea pe care o au cele două înfășurări caracteristicile de funcționare se apropie de caracteristicile motorului de curent continuu cu excitație serie sau de cele ale motorului cu excitație derivație.

În funcționare la nominal dacă cele două fluxuri se vor aduna înseamnă ca înfășurările sunt conectate în mixt adițional, iar dacă cele două fluxuri se scad cele două înfășurări sunt conectate în mixt diferențial.

În montajul mixt adițional, fluxul inductor rezultat, $\Phi = \Phi_D + \Phi_S$, va fi mai mare cu cât curentul de absorbit de motor va fi mai mare, rezultând o scădere a turației comparativ funcționarea în sarcină a motorului de curent continuu cu excitație derivație.

În montajul mixt adițional, fluxul inductor rezultat, $\Phi = \Phi_D - \Phi_S$, va fi mai mare cu cât curentul de absorbit de motor va fi mai mare, rezultând o creștere a turației, iar în funcție de ponderea înfășurării serie poate rezulta chiar o ambalare a motorului.

Dacă ponderea înfășurării de excitație serie este mică, în funcționare caracteristica vitezei în funcție de cuplul rezistent la arbore prezintă mici variații.

În continuare se vor realiza mai multe încercări experimentale pentru a trasa caracteristica naturală și caracteristicile artificiale ale motorului de curent continuu cu excitație derivație, după cum urmează:

22. Caracteristica mecanică (caracteristica naturală) – $n=f(M_2)$ - se trasează păstrând constante curentul de excitație pentru înfășurarea derivație și tensiunea la borne.

Pentru a trasa această caracteristică se procedează astfel:

- Se poziționează reostatul de câmp pe valoare minimă.
- Se închide întrerupătorul Q_2 ;
- Se variază tensiunea de alimentare până ce valoarea tensiunii indicată de voltmetrul V_2 , să fie cea nominală, indicată pe plăcuța indicatoare.
- Pentru a evita creșterea curentului de excitație peste valoarea nominală se va urmări indicația ampermetrului A_1 , și crește când este cazul rezistența reostatului de câmp.
- Odată fixat curentul de excitație derivație la valoarea sa nominală se va încărca motorul în cuplul rezistent la arbore.
- Astfel se notează de fiecare dată cuplul rezistent M_2 și turația motorului n . Astfel se completează tabelul 1 și respectiv, tabelul 2, și se vor trasa caracteristicile în figura 2. Trasarea caracteristicilor mecanice se va efectua pentru cele două montaje posibile: mixt adițional și mixt diferențial.

Tabelul 1- Montaj mixt adițional

M_2 [Nm]										
n [rot/min]										

Tabelul 2- Montaj mixt diferențial

M_2 [Nm]										
n [rot/min]										

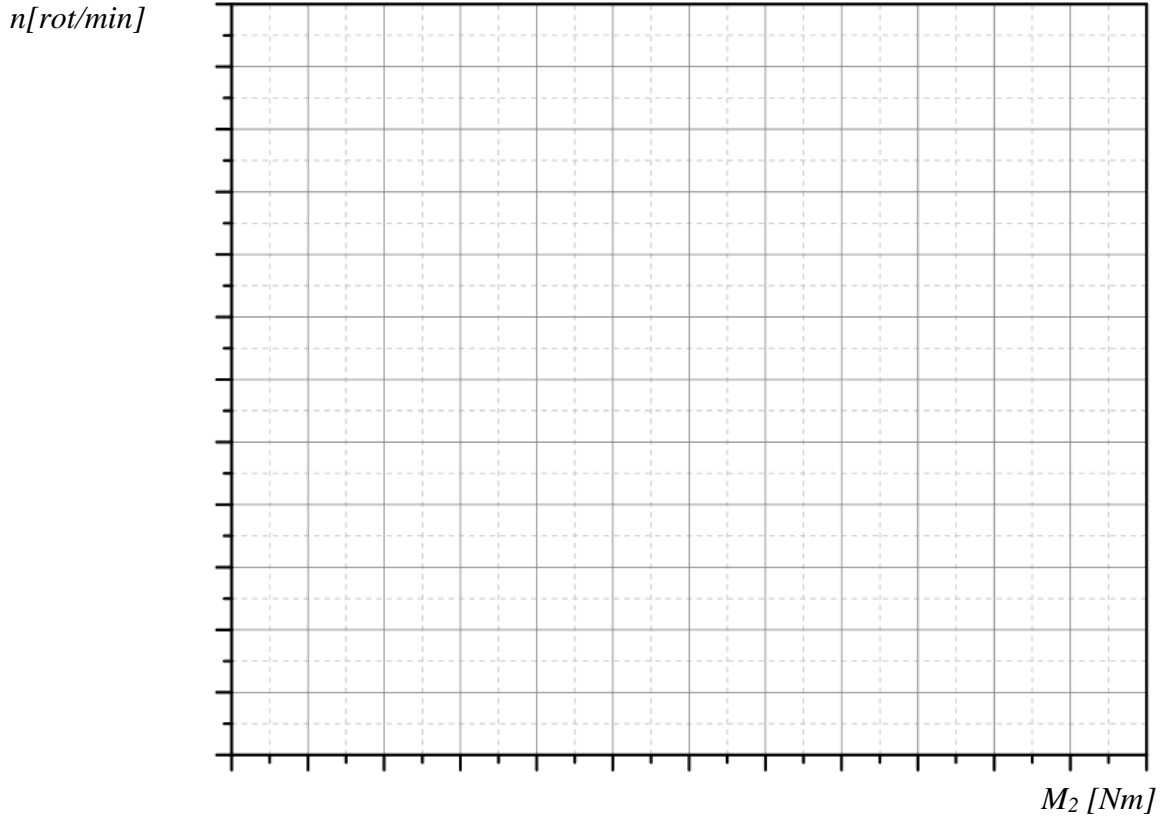


Fig. 2 – Caracteristica mecanică

23. Caracteristicile de funcționare – $n=f(P_2)$, $I_1=f(P_2)$, $M_2=f(P_2)$ și respectiv, $\eta=f(P_2)$ – aceste caracteristici se trasează menținând constantă tensiunea la bornele indusului motorului și curentul de excitație pe înfășurarea derivație constant.

Efectuând aceiași pași ca în cazul trasării caracteristicilor mecanice, se va crește cuplul se va completa tabelul 3 și respectiv, tabelul 4, urmând a trasa caracteristicile în figura 3,4,5 și 6.

Tabelul 3 – Montaj mixt adițional

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

Tabelul 3 – Montaj mixt diferențial

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

În tabelele de mai sus:

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

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

Puterea consumată la borne: $P_1 = U_1 \cdot I_1 [W];$

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

- Se trasează caracteristicile de funcționare după cum urmează:

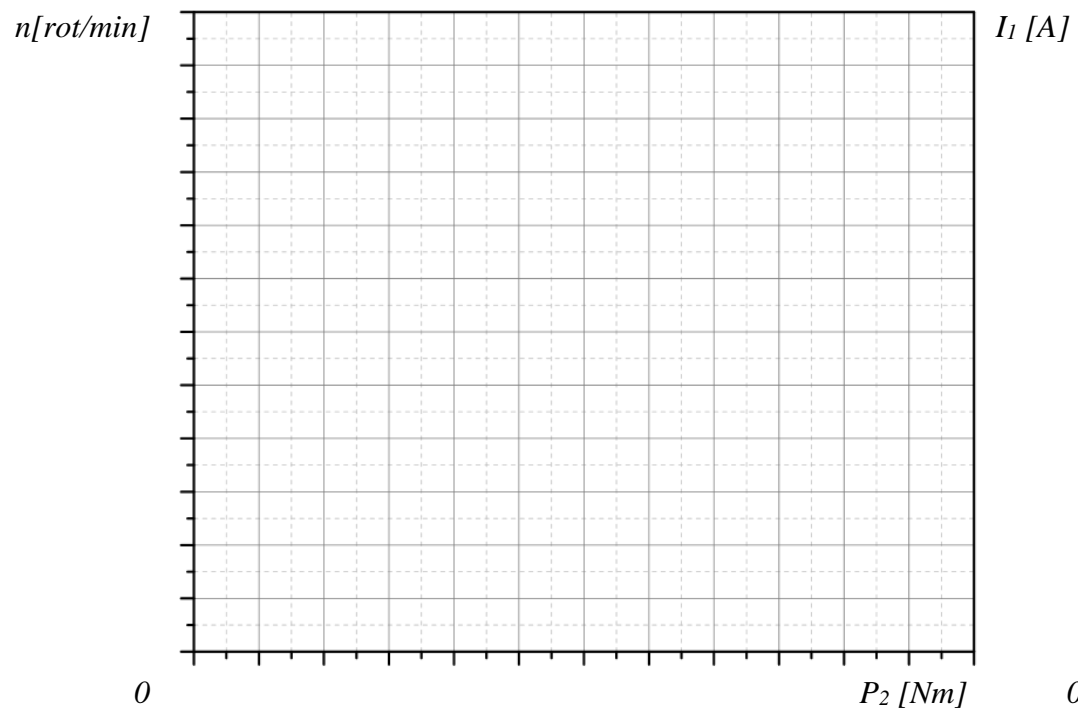


Fig. 3 – Caracteristica de turatie în funcție de puterea utilă

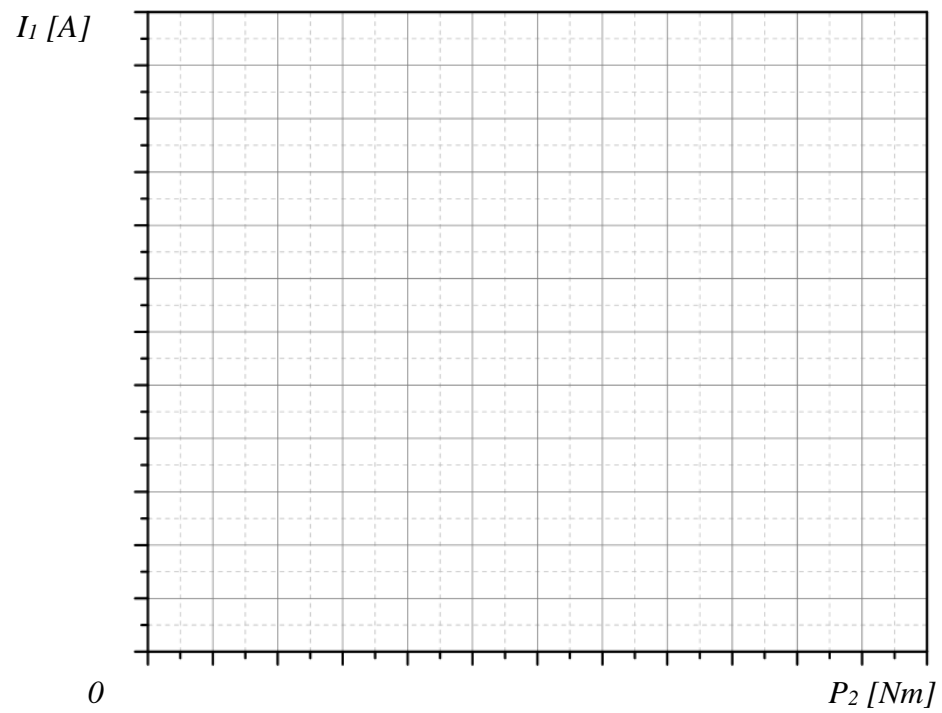


Fig. 4 – Caracteristica curentului în funcție de putere utilă

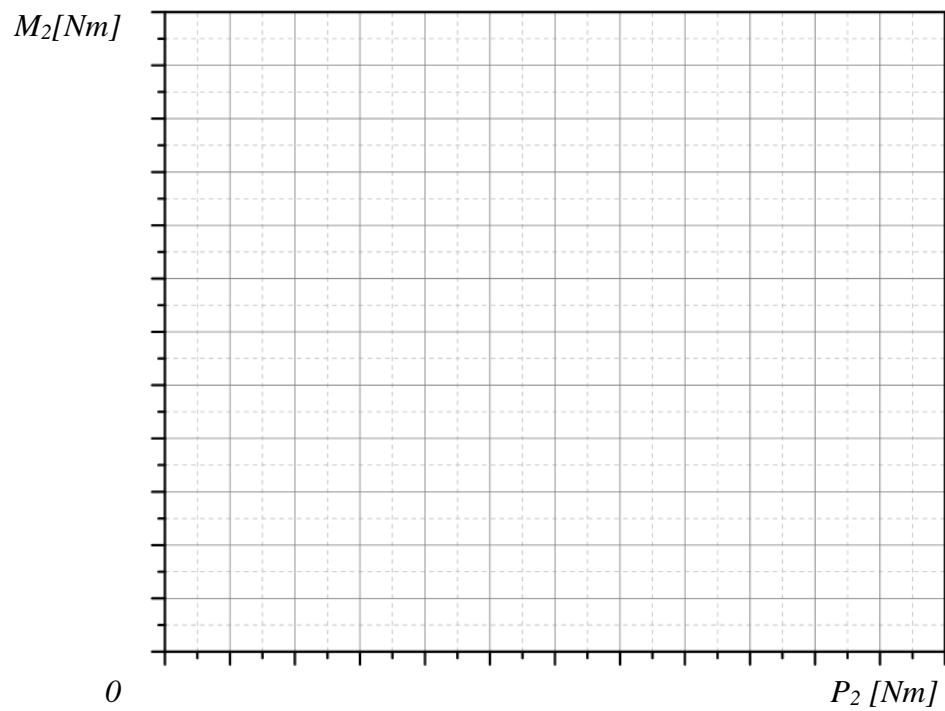


Fig. 5 – Caracteristica de cuplu în funcție de puterea utilă

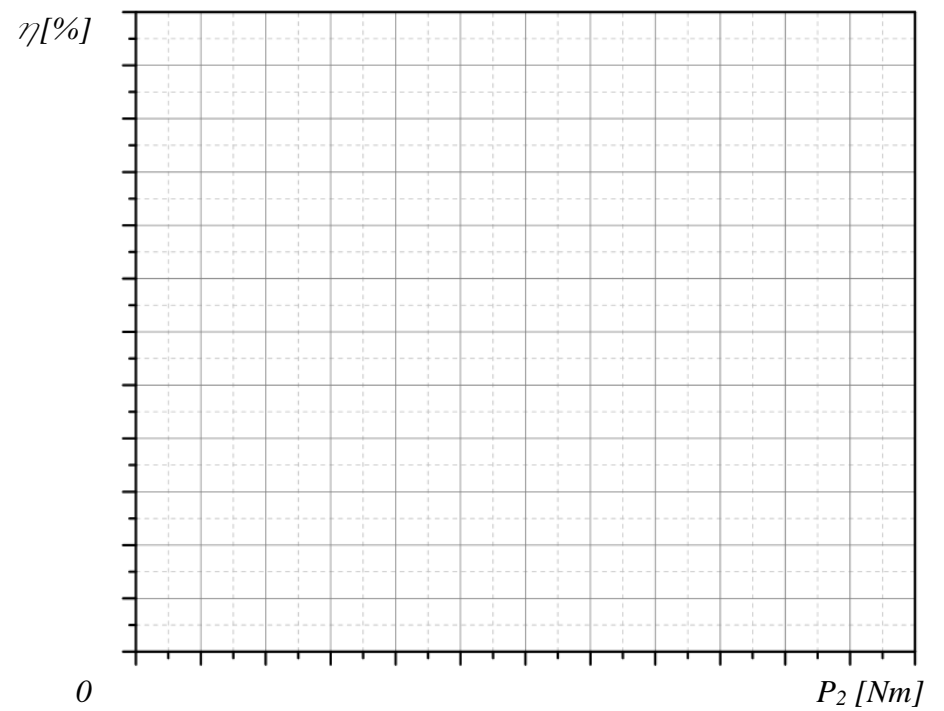


Fig. 6 – Caracteristica randamentului

Laboratorul numărul 9

Transformatorul electric - Considerații generale

Transformatorul electric este un aparat static, cu două sau mai multe înfășurări, cuplate magnetic, cu rolul de a modifica parametrii puterii electrice în curent alternativ (tensiunea, curentul și eventual numărul de faze), frecvența rămânând constantă.

Transformatorul electric funcționează în baza principiului inducției electromagnetice. Inducția electromagnetică preupune generarea tensiunii, u_2 , într-un circuit plasat în câmp magnetic variabil, Φ , iar dacă acest circuit este închis prin acest circuit va circula curentul indus, i_2 (Fig. 1).

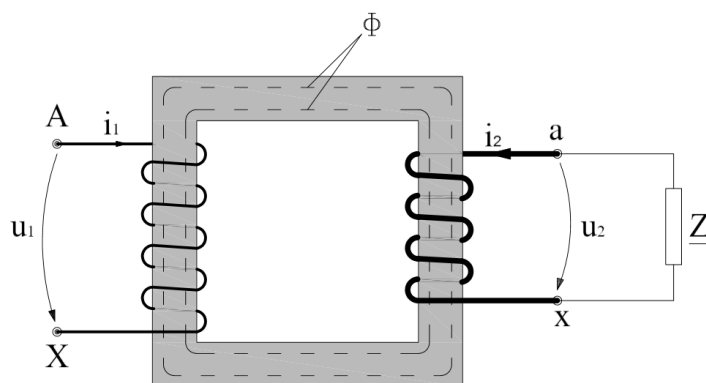


Fig.1. - Transformatorul monofazat – principiu de funcționare

Transformatoarele electrice pot fi: monofazate și polifazate (frecvent trifazate). În sistemul trifazat sunt utilizate aproape exclusiv transformatoarele trifazate. Acestea funcționează parcurse de un sistem de curenți simetrici proveniți de la alimentarea primarului de la sistemul trifazat de tensiuni simetrice. Funcționarea transformatorului trifazat este similară transformatorului monofazat.

Transformatoarele de puteri mici ($S_N < 1 \text{ kVA}$) au, de regulă, răcire naturală în aer și se numesc transformatoare uscate, iar cele de putere mai mare au răcire în ulei.

Regimul nominal de funcționare al unui transformator este acela pentru care se proiectează transformatorul și la care trebuie să funcționeze fără ca temperatura în diferite zone să depășească limitele impuse de normele tehnice în vigoare pentru clasa materialelor

electroizolante utilizate. Regimul nominal de funcționare, caracteristic serviciului nominal, este caracterizat de datele nominale înscrise pe tăblița indicatoare, fixată pe transformator la loc vizibil și accesibil.

Funcționarea în regim nominal este definită de următoarele date:

- curenții primari și secundari - sunt curenții de linie pentru puterile și tensiunile nominale ale transformatorului;

- tensiunea nominală de scurtcircuit – este tensiunea ce trebuie aplicată înfășurării/ înfășurărilor de tensiune mare a transformatorului ca în circuitul de tensiune mică, pus în scurtcircuit, să se închidă curentul nominal, temperatura transformatorului fiind temperatura nominală de lucru;

- frecvența nominală a transformatorului, care în mod obișnuit este 50 Hz, iar în cazuri speciale altă frecvență, aceasta fiind indicată pe plăcuța indicatoare.

1. Notarea bornelor la transformatoarele se realizează astfel:

- Pentru capetele înfășurarilor de tensiune mare se utilizează majuscule și anume: începuturile înfășurărilor se notează cu A, B, C iar sfârșitul înfășurărilor se notează cu X, Y, Z;
- Pentru capetele înfășurarilor de tensiune mică se utilizează litere mici și anume: începuturile înfășurărilor se notează cu a, b, c iar sfârșitul înfășurărilor se notează cu x, y, z.
- În cazul transformatoarelor cu trei înfășurări, pentru înfășurările de medie tensiune sunt folosite literele A_m , B_m , C_m pentru începuturi, și X_m , Y_m , Z_m pentru sfârșituri.

Punctul neutru al înfășurărilor, dacă este scos la placa de borne, se notează cu N, n, N_m pentru înaltă, joasă respectiv medie tensiune.

Atât pe partea de înaltă tensiune cât și pe partea de joasă tensiune, succesiunea alfabetică a literelor coincide cu succesiunea fazelor în timp, bobinele înfășurărilor considerându-se că au același sens de înfășurare.

Identificarea bornelor transformatoarelor

În cazul curentului alternativ trifazat, transformarea parametrilor energiei electrice (tensiunea, curentul sau eventual numărul de faze) se realizează cu ajutorul a trei transformatoare monofazate identice (Fig. 2) sau cu ajutorul unui transformator trifazat cu miez compact (Fig. 3).

În primul caz, transformatorul trifazat constituit din trei transformatoare monofazate, se utilizează în cazul puterilor mari și foarte mari sau soluția se aplică din considerente tehnice (imposibilitatea transportului transformatorului de mare putere cu miez compact datorită gabariturii) sau economice (rezerva necesară în cazul defectului de transformator – este economic a păstra în rezervă o unitate monofazată decât o unitate trifazată cu miez compact). În acest caz, fiecare miez feromagnetic, monofazat, beneficiază de câte o înfășurare primară și una secundară.

În cazul al doilea înfășurarea primară și secundară, corespunzătoare fiecărei faze, sunt dispuse pe câte o coloană a transformatorului, miezul feromagnetic fiind prevăzut cu trei coloane. Capetele înfășurărilor unui transformator sunt scoase, de regulă, la placă de borne.

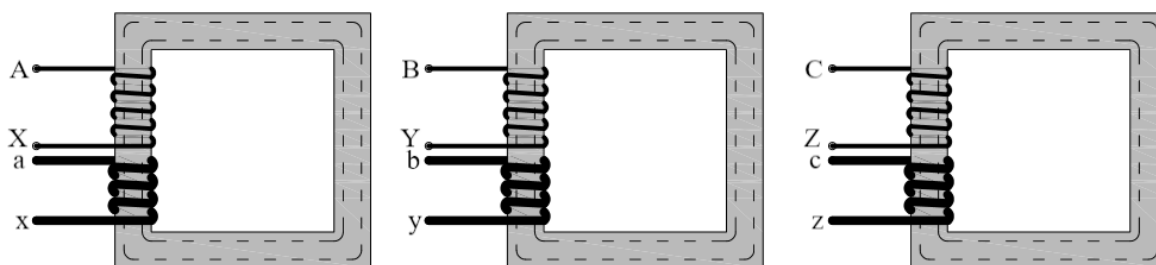


Fig. 2. Transformator trifazat realizat din trei transformatoare monofazate

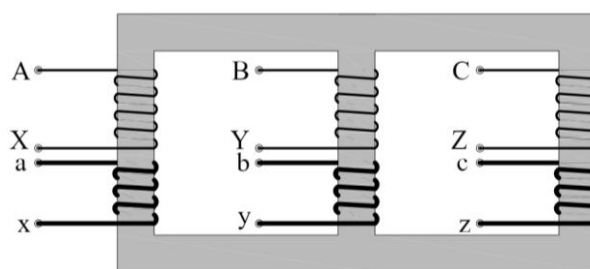


Fig. 3. Transformator trifazat cu miez compact în trei coloane

Pentru realizarea diverselor conexiuni ale înfășurărilor transformatoarelor polifazate este necesară determinarea bornelor fiecărei faze precum și separarea începuturilor și sfârșiturile înfășurărilor.

A. Transformatorul monofazat prezintă, de regulă, o placă cu două perechi de borne, câte o pereche pentru primar și secundar.

Bornele se notează cu cifre (Fig. 4) și cu un voltmetru de 300 Vca înseriat cu rețeaua se determină extremitățile fiecărei înfășurări (bobine) obținându-se astfel perechile de borne. Voltmetrul va indica astfel tensiunea de 230 Vca atunci când perechile de borne corespund unei înfășurări și la transformatorul monofazat nu se pune problema separării începuturilor de sfârșiturile înfășurărilor.

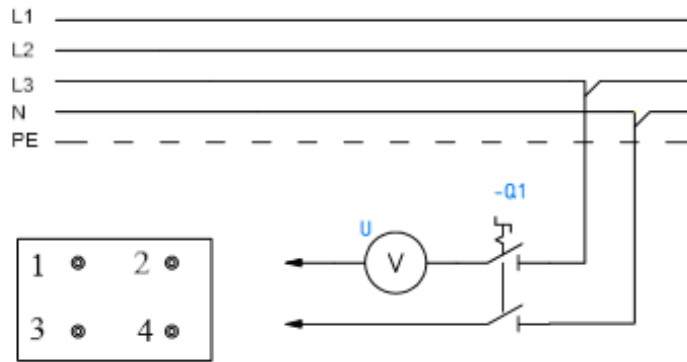


Fig. 4. Determinarea bornelor transformatorului monofazat

B. Transformatorul trifazat pentru înfășurarea primară, prezintă șase perechi de borne, câte două perechi fiecare fază. Dacă înfășurarea secundară are câte două identice pe fiecare fază atunci, la placa de borne a transformatorului se regăsesc 18 borne, din care 6 pentru primar și 12 pentru secundar. Pentru identificarea completă a înfășurărilor unui transformator se procedează conform etapelor de mai jos:

b.1. Determinarea capetelor fiecărei bobine. Se notează bornele cu cifre (Fig. 5.) și, utilizând un ohmmetru sau metoda înserierii voltmetrului cu o rețea se determină capetele fiecărei înfășurări (bobine).

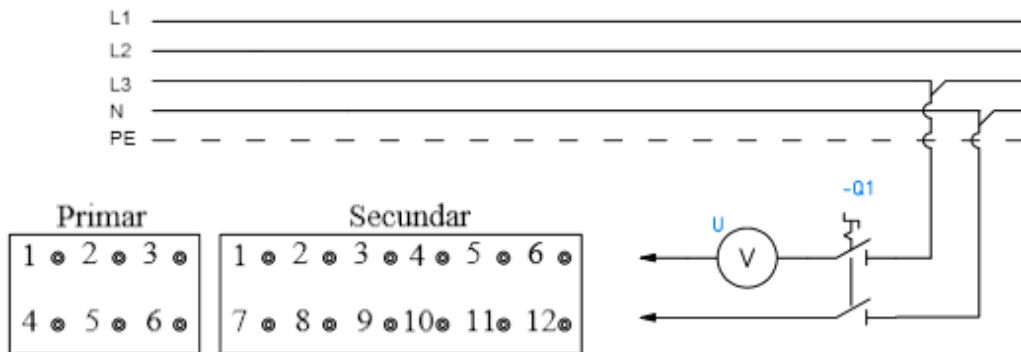


Fig. 5. Determinarea capetelor înfășurărilor transformatorului trifazat

» *Observație:* în cazul metodei înserierii voltmetrului cu rețeaua se caută perechile de borne, de la primar și secundar, între care voltmetrul indică aproximativ 230V, acestea reprezentând capetele unei aceleași înfășurări.

b.2. Determinarea bobinelor aflate pe aceeași coloană al transformatorului. Această operație presupune determinare semibobinelor secundare aflate pe aceeași coloană cu fiecare din bobinele primare. Se alimentează, pe rând, fiecare bobină primară cu tensiune alternativă, măsurându-se tensiunile obținute la bornei fiecărei semibobine secundare. Bobinele la care s-a obținut tensiune maximă sunt plasate pe aceeași coloană cu bobina primară alimentată la

momentul respectiv. Explicația este următoarea: tensiunile obținute în secundar sunt maxime în cazul bobinelor aflate pe aceeași coloană cu înfășurarea primară alimentată deoarece fluxul pe această coloană este maxim.

Se notează astfel bobinele, primară și secundară aliate pe aceeași coloană

b.3. Determinarea poziției înfășurărilor pe cele trei coloane ale transformatorului. Se determină înfășurările aflate pe coloana din mijloc respectiv cele plasate pe coloanele laterale. Când este alimentată bobina primară situată pe coloana din mijloc, fluxul creat prin aceasta se va închide în mod egal prin coloanele laterale și astfel tensiunile induse (proporționale cu fluxurile) sunt maxime în semibobinele secundare plasate pe coloana din mijloc și jumătate în semibobinele situate pe coloanele laterale (Fig. 6).

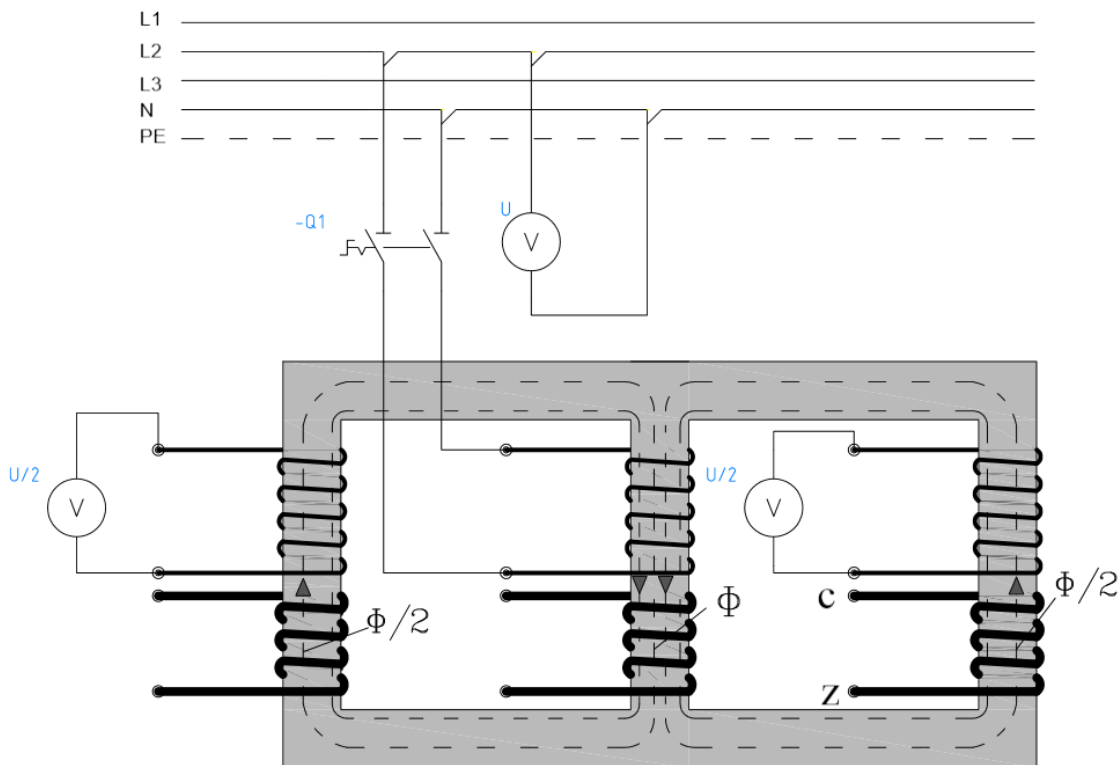


Fig. 6. Determinarea poziționării înfășurărilor pe cele trei coloane
– Alimentarea unei înfășurări de pe coloana din mijloc

În cazul alimentării unei bobine primare plasată pe o coloană laterală tensiunile induse în semibobinele secundare situate pe celelalte două coloane nu mai sunt egale, datorită inegalității reluctanțelor de pe traseul celor două fluxuri (Fig. 7.).

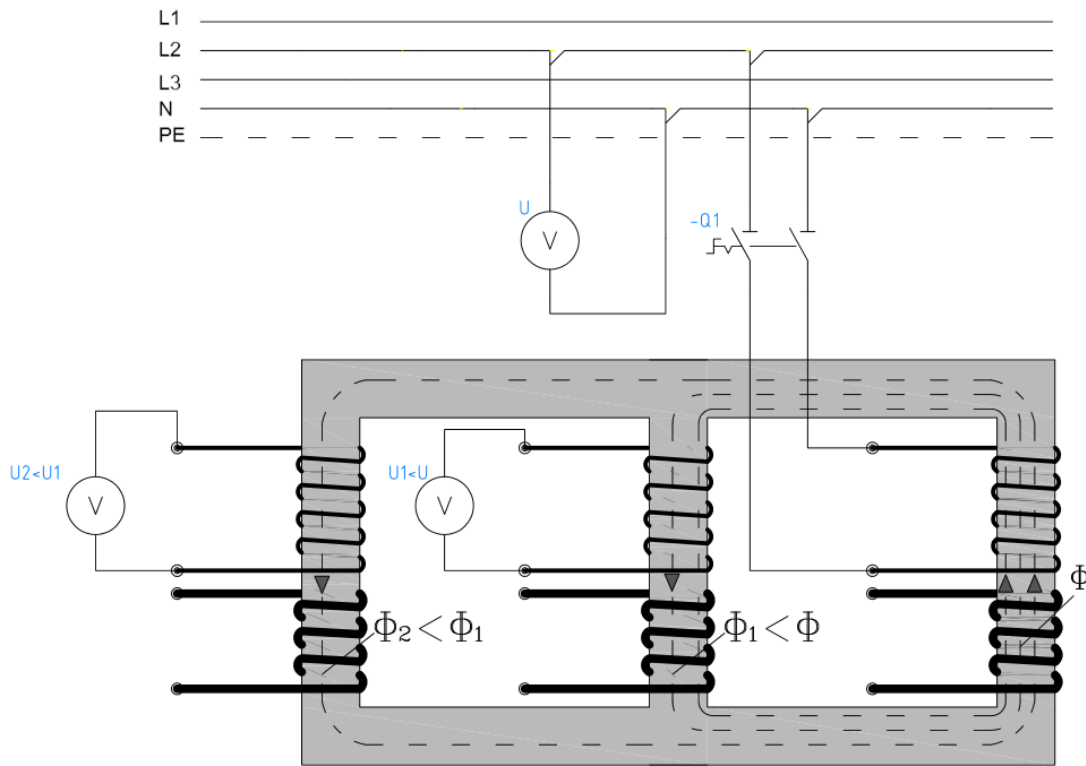


Fig. 7. Determinarea poziționării înfășurărilor pe cele trei coloane
– Alimentarea unei înfășurări de pe coloana din mijloc

b.4. Separarea începuturilor și sfârșiturilor înfășurărilor primare. Se alimentează, cu tensiune corespunzătoare, una din înfășurările primare (de ex. 1-4 în Fig. 8.) iar celelalte două înfășurări se conectează între ele prin legarea a două capete. Cu ajutorul unui voltmetru se citește tensiunea între capetele rămase libere. În cazul în care capetele unite sunt ambele începuturi sau ambele "sfârșituri", voltmetrul indică o valoare redusă, apropiată de zero. Se alimentează apoi o altă înfășurare, 3-6 în Fig. 9., și se procedează în mod analog știind de această dată că borna 2 este început și 5 este sfârșit.

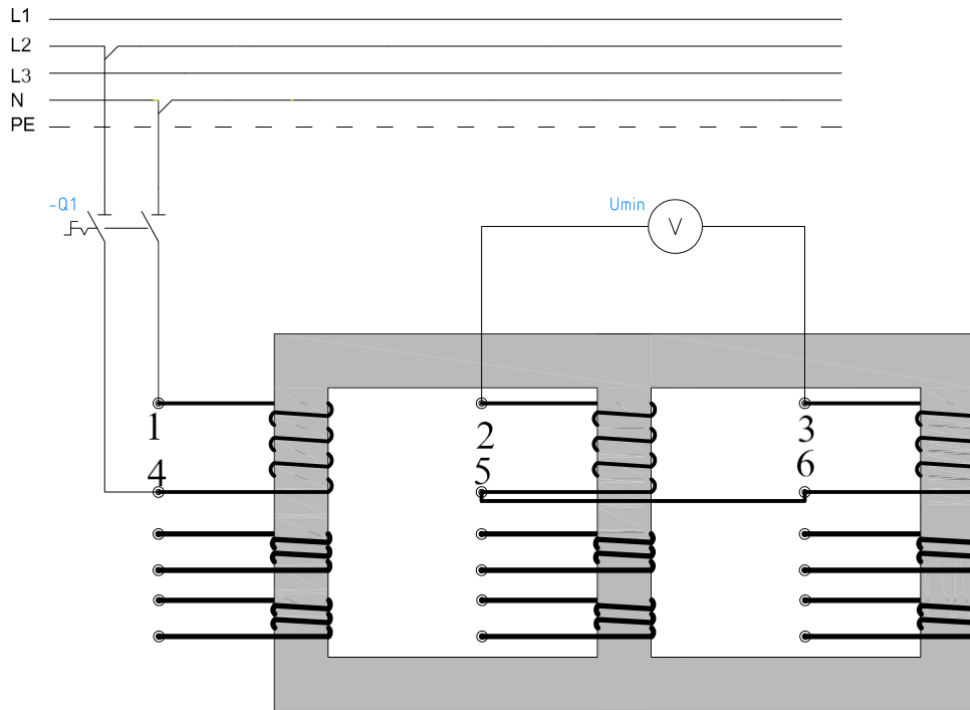


Fig. 8. Determinarea începuturilor și sfârșiturilor înfășurărilor primare

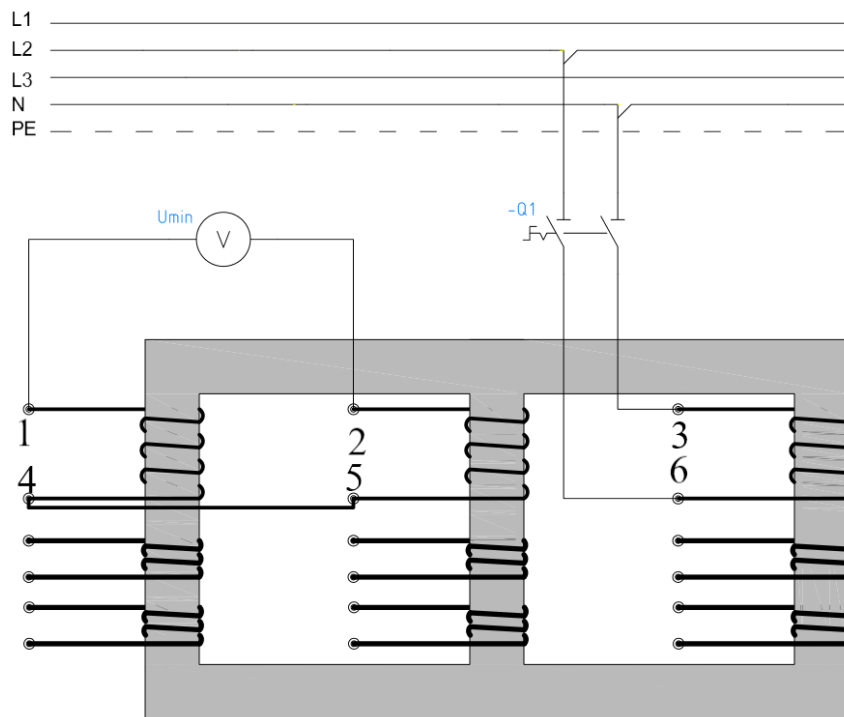


Fig. 9. Determinarea începuturilor și sfârșiturilor înfășurărilor primare

Se determină astfel începuturile și sfârșiturile înfășurărilor primare care se notează respectiv cu A-X, B-Y, C-Z.

b.5. Determinarea legăturilor de inseriere corectă a semi-bobinelor din secundar. Prin această operație se determină legătura de inseriere corectă dintre un început și un sfârșit a celor două semibobine de pe aceeași coloană ale transformatorului trifazat.

Se alimentează o înfășurare primară (de ex. A-X - fig 10) și se conectează între ele două capete ale semibobinelor din secundar (4 cu 7). Dacă tensiunea măsurată la bornele ramase libere (1 și 10) are valoare maxima (mult diferită de zero) atunci legătura între bornele 4 și 7 este o legătura între început și sfârșit. Dacă tensiunea este apropiată de zero atunci cele două borne sunt fie începuturi fie sfârșituri.

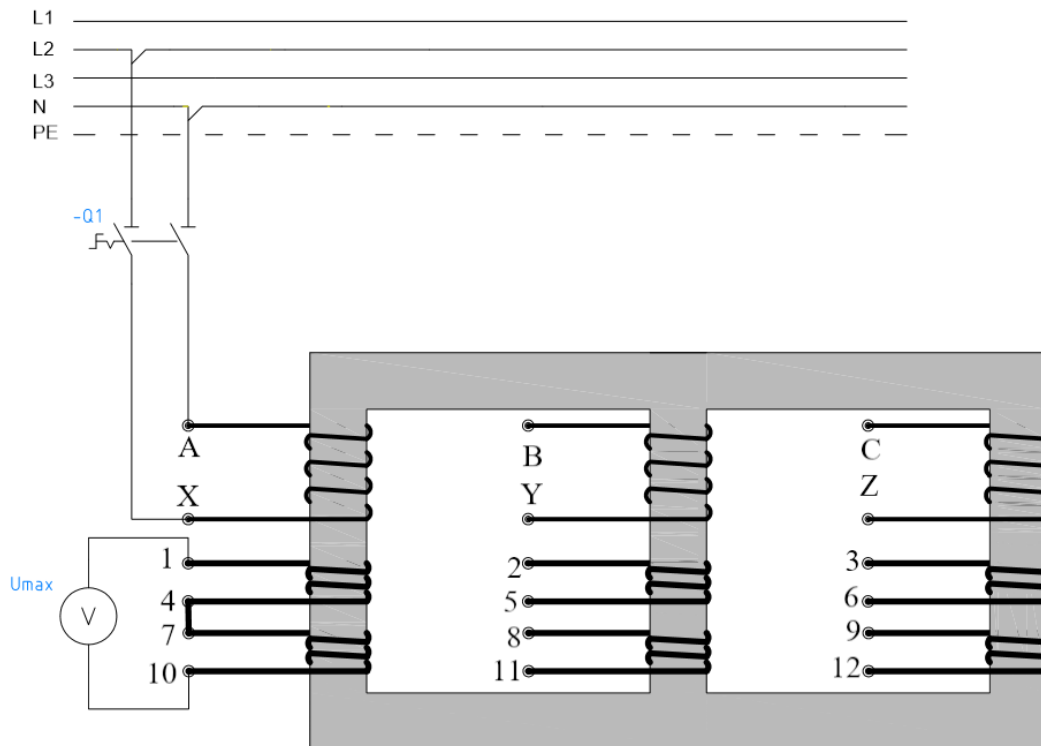


Fig. 10. Determinarea legăturilor de inseriere corectă a semi-bobinelor din secundar

Se vor determina legaturile corecte de inseriere pentru semibobinele secundare de pe toate cele trei coloane.

b.6. Determinarea începuturilor și sfârșiturilor semibobinelor secundare. Să presupunem că legăturile de inseriere corectă a bobinelor secundare sunt 4-7, 5-8, 6-9 (Fig. 11).

Se alimentează, cu tensiune corespunzătoare, o înfășurare primară. Fie aceasta B-Y. Având legătura de înscriere corect realizată, se conectează borna X din primar cu borna 1 din secundar și se măsoară tensiunea la bornele A-10 (Fig. 11.). Apoi se desface legătura dintre bornele X și 1, se face legătura între bornele X și 10 și se măsoară tensiunea între bornele A și 1 (Fig. 12.). Când

voltmetrul indică tensiunea mai mare (în cazul exemplului ales este cazul din Fig. 11.) înseamnă că borna X, care reprezintă un sfârșit, a fost conectată cu un început, adică borna 1. Deci borna 4 este sfârșit, 7-început, 10-sfârșit. În felul acesta s-au determinat începuturile și sfârșiturile bobinelor secundare de pe faza A-X care se notează cu ax' respectiv a'x. În mod analog se procedează pentru faza C-Z.

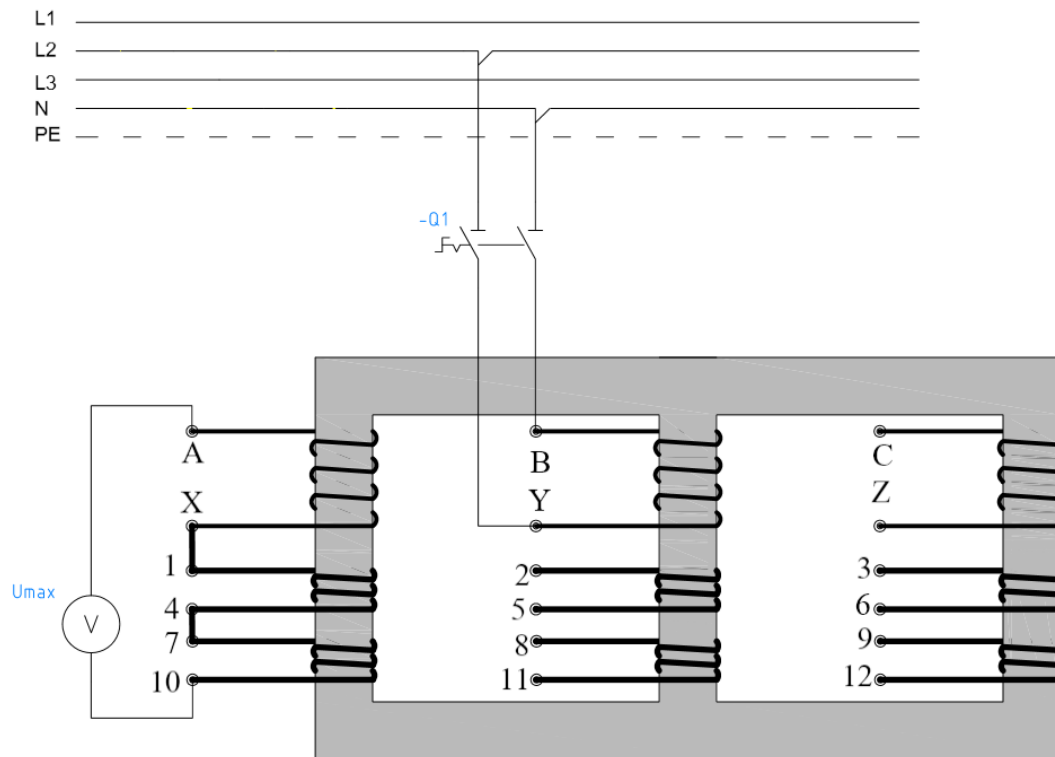


Fig. 11. Determinarea începuturilor și sfârșiturilor semibobinelor secundare

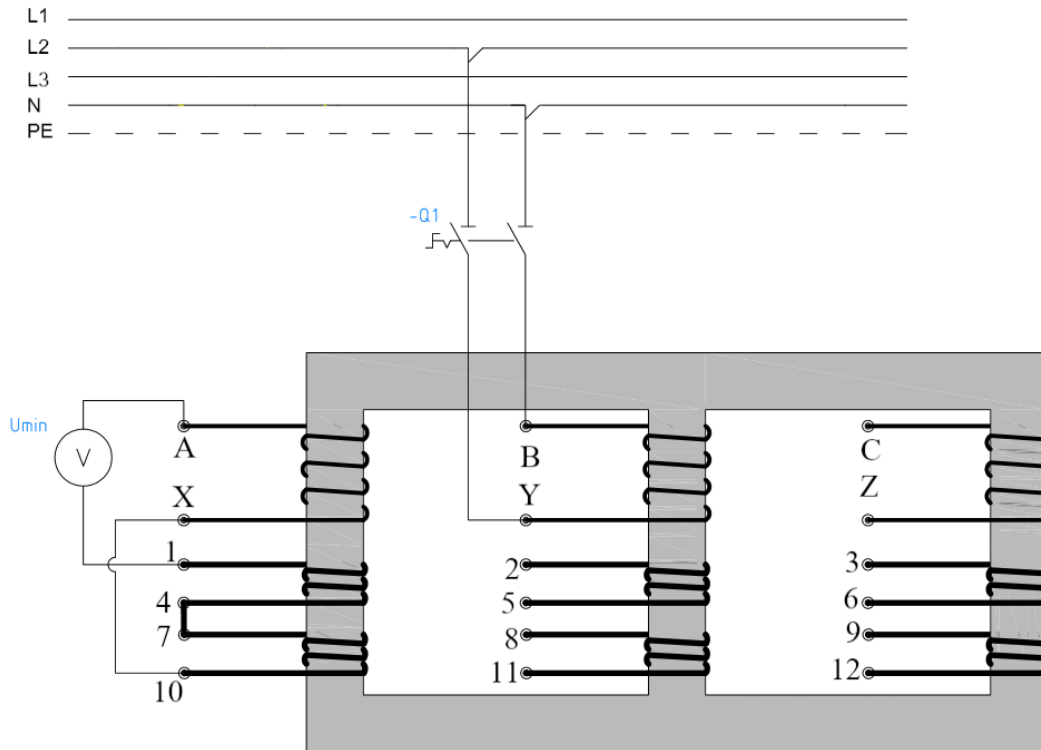


Fig. 12. Determinarea începuturilor și sfârșiturilor semibobinelor secundare

Pentru determinările corespunzătoare fazei B-Y este necesară alimentarea fie a fazei A-X fie a fazei C-Z, raționamentul fiind analog. Rezultatul în final este tocmai determinarea completă a bornelor înfășurărilor transformatorului trifazat.

În cazul în care transformatorul este prevăzut în secundar cu câte o singură înfășurare pe fiecare fază, nu mai sunt necesare operațiile corespunzătoare etapei b.5.

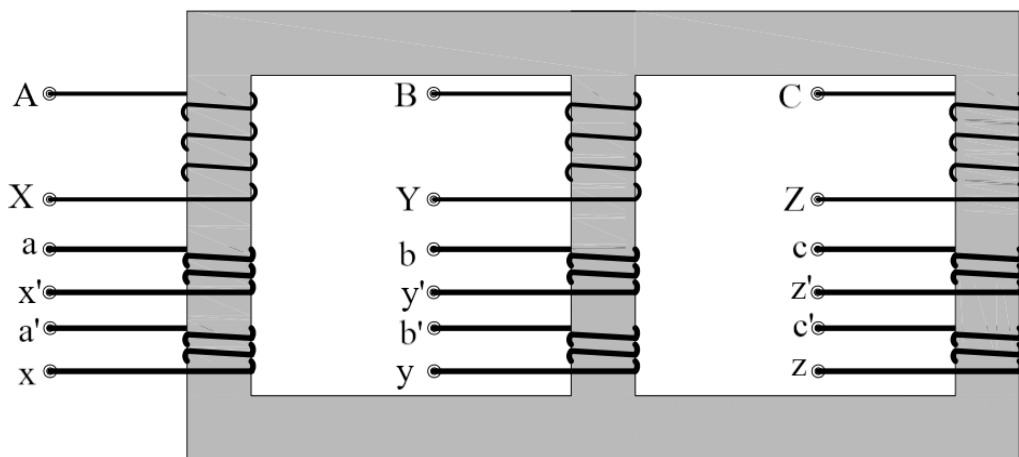


Fig. 13. Determinarea completă a bornelor înfășurărilor transformatorului trifazat.

Conexiunile înfășurărilor transformatoarelor trifazate.

Grupe de conexiuni. Raport de transformare

A. Conexiunile transformatorului trifazat

Înfășurările primare și secundare ale unui transformator trifazat pot fi conectate între ele în diferite moduri, ansamblul conexiunilor constituind schema de conexiuni a transformatorului.

Schemele de conexiuni se indică convențional cu literă mare pentru înaltă tensiune, cu literă mică pentru joasă tensiune și cu literă mare însoțită de indicele m pentru media -tensiune, în cazul transformatoarelor cu trei înfășurări. La transformatoarele trifazate, înfășurările pot fi conectate în stea, în triunghi sau în zig-zag.

Schema de conexiuni stea, simbolizată cu Y (pentru înalta tensiune) și y (pentru joasa tensiune) se realizează conectând împreună începuturile sau sfârșiturile înfășurărilor de fază, constituind astfel punctul de nul, notat cu-N sau n, iar capetele libere sunt legate la bornele transformatorului (Fig. 14.). Punctul de nul poate fi scos la placa de borne, situație în care simbolul conexiunii va avea indicele 0 (ex: YN sau yn - după cum ne referim la înaltă tensiune sau joasă tensiune). Conexiunea stea a înfășurărilor permite obținerea a două tensiuni de valori diferite în raportul $1/\sqrt{3}$, un sistem monofazat de tensiuni (tensiunile de fază) și un sistem trifazat de tensiuni (tensiunile de linie).

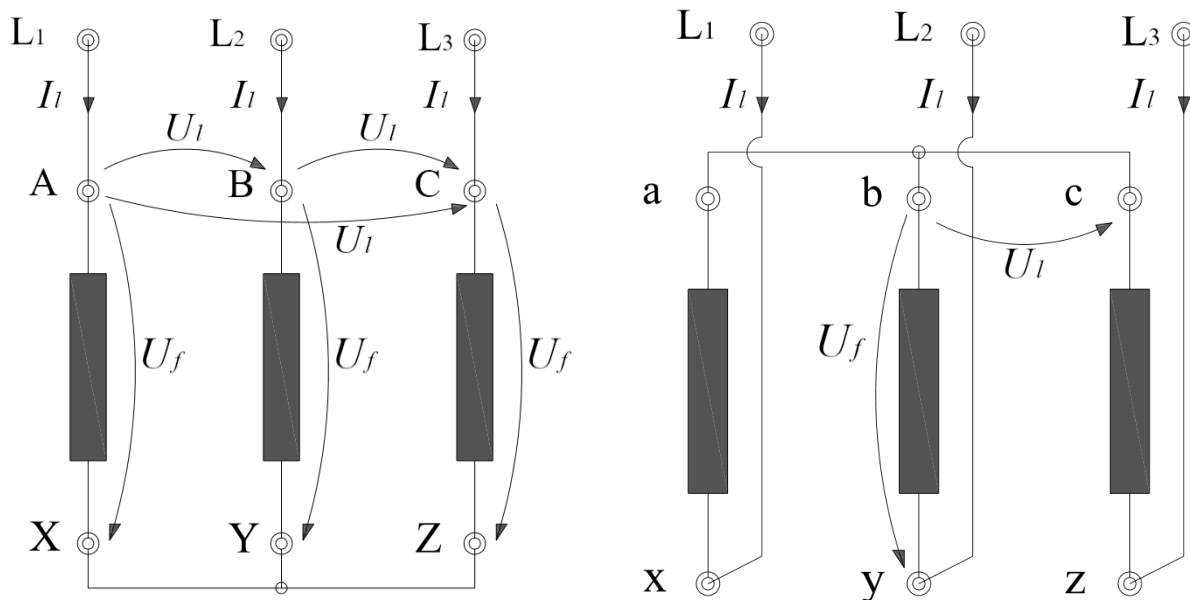


Fig. 14. Conexiune Y

În regim armonic valoarea efectivă a tensiunii de linie este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decât valoarea efectivă a tensiunii de fază, iar valorile efective ale curenților de linie și de fază sunt egale:

$$U_l = \sqrt{3} \cdot U_f$$

$$I_l = I_f$$

Această conexiune se utilizează la transformatoarele de putere Pe partea de înaltă tensiune și la transformatoarele de distribuție.

Schema de conexiuni triunghi simbolizată D sau d, se obține conectând sfârșitul unei înfășurări de fază cu sfârșitul unei înfășurări de fază. Înserierea se poate realiza în două moduri: către stânga când triunghiul constituit este în "N" (Fig. 15.a)) sau dreapta succesiunii fazelor, când triunghiul este în Z (Fig. 15.b)). Punctele de conexiune a fazelor constituie începuturile sau sfârșiturile înfășurărilor transformatorului și se scot la bornele acestuia.

Pentru această conexiune, relațiile între mărimile de linie și fază în regim armonic sunt:

$$U_l = U_f$$

$$I_l = \sqrt{3} \cdot I_f$$

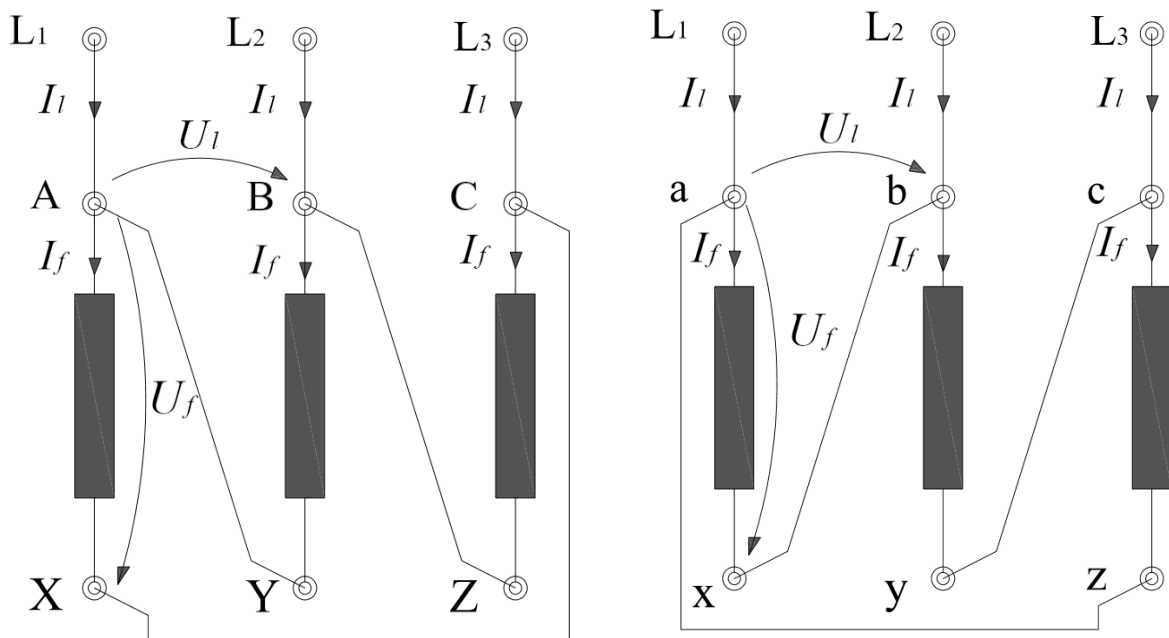


Fig. 15. Conexiunea D

a) Triunghi în N

b) Triunghi în Z

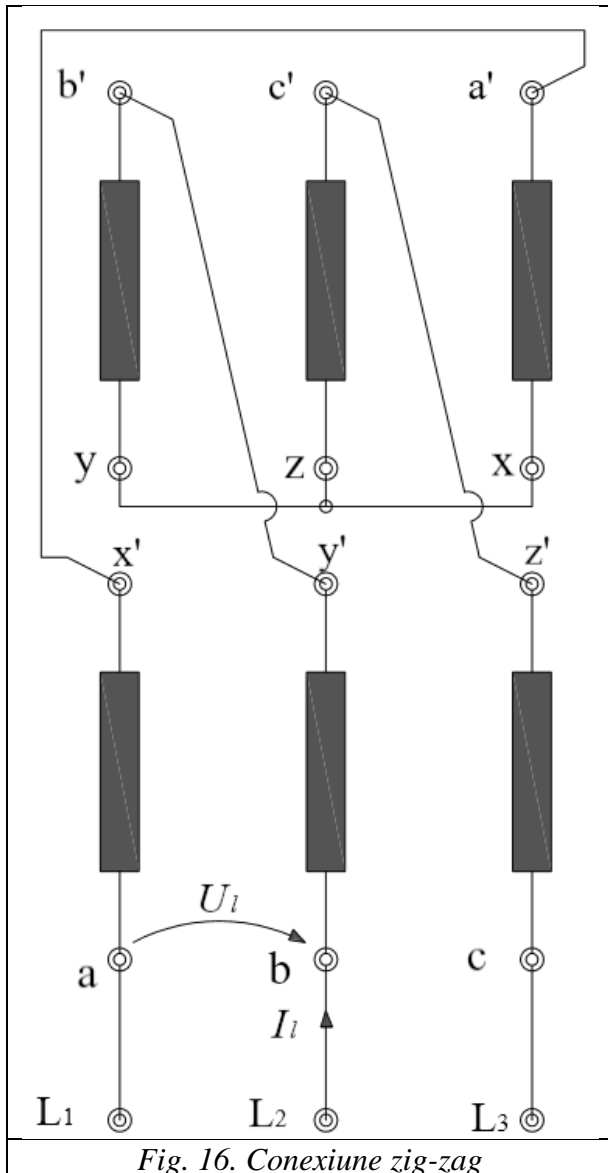


Fig. 16. Conexiune zig-zag

Schema de conexiuni zig-zag este simbolizată cu z și se utilizează NUMAI pe partea de joasă tensiune a transformatoarelor de distribuție. Pentru realizarea acestei conexiuni fiecare înfășurare de fază trebuie să fie formată din câte două semibobine identice. Conexiunea se obține prin inserierea unei semibobine de pe o coloană cu o semibobină de altă coloană, acestea fiind parcurse de curenți în sens invers (Fig. 16).

Relațiile între mărimile de linie și cele de fază în regim armonic sunt identice cu relațiile stabilite la schema de conexiuni stea.

$$U_{lD} = U_{fD}$$

$$I_D = \sqrt{3} \cdot I_l$$

B. Grupe de conexiuni trifazate

Transformatoarele trifazate pot avea diferite conexiuni ale înfășurărilor de fază pe partea de înaltă tensiune în raport cu conexiunile înfășurărilor de fază pe partea de joasă tensiune. Schema de conexiuni este caracterizată de așa numita deplasare unghiulară ce reprezintă defazajul între tensiunile de linie sau de fază de pe partea de joasă tensiune și tensiunea de linie sau de fază omoloagă de pe partea de înaltă tensiune, prima fiind în urma celeilalte (defazată în sens orar în planul de reprezentare fazorială a tensiunilor). Acest defazaj dintre tensiunile omoloage de linie (sau de fază) la transformatoarele trifazate poate fi un multiplu de $30^\circ (\pi/6)$.

Numărul sub formă de simbol care însoțește schema de conexiuni a unui transformator trifazat arată grupa de conexiuni din care acesta face parte. Acest număr înmulțit cu 30° va da unghiul de defazaj al tensiunilor de linie (sau de fază) secundare față de cele primare de linie (sau de fază) ale transformatoarelor care fac parte din grupa respectivă. Prin urmare se pot realiza grupe de conexiuni cu defazajul tensiunilor de linie de: $1 \times 30^\circ$; $2 \times 30^\circ$; ... $12 \times 30^\circ$.

Conexiunile trifazate stea, triunghi și zig-zag pot forma, luate câte două, 12 grupe diferite de conexiuni.

Ca regulă, se poate stabili că în cazul conexiunilor identice pe partea de înaltă tensiune și joasă tensiune Yy , Dd inclusiv Dz , se obțin grupe de conexiuni pare 2,4,6,8,10,12, iar în cazul conexiunilor diferite Yd ; Dy inclusiv Yz se obțin grupe de conexiuni impare: 1,3,5,7,9,11.

C. Raportul de transformare

Raportul dintre tensiunile de linie de la bornele înfășurărilor primare și secundare la mersul în gol reprezintă raportul de transformare al transformatorului:

La transformatoarele trifazate, acest raport depinde esențial de schema de conexiuni.

Considerând tensiunile de fază proporționale cu numărul de spire corespunzător pe fază, notat W_1 , pentru înaltă tensiune și W_2 , pentru joasă tensiune rezultă:

Tabelul 1

Conexiune	Dd	Yy	Dz	Yd	Dy	Yz
k	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{2}{3} \cdot \frac{W_1}{W_2}$	$\sqrt{3} \cdot \frac{W_1}{W_2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{W_1}{W_2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{W_1}{W_2}$

Procedeu Experimental

Pentru realizarea tuturor conexiunilor menționate este necesar un transformator cu trei bobine în primar, câte una pe fiecare fază (6 borne) și 6 semibobine în secundar, câte două pentru fiecare fază (12 borne). Transformatorul de încercat va prezenta 18 borne dispuse pe placa do borne.

- Se identifică bornele transformatorului, notându-le în Tabelul 2 conform precizărilor de mai sus referitoare la transformatoare și se reprezintă schematic înfășurările conform Fig. 17.

Tabelul 2

Borna	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Notația									
Borna	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Notația									

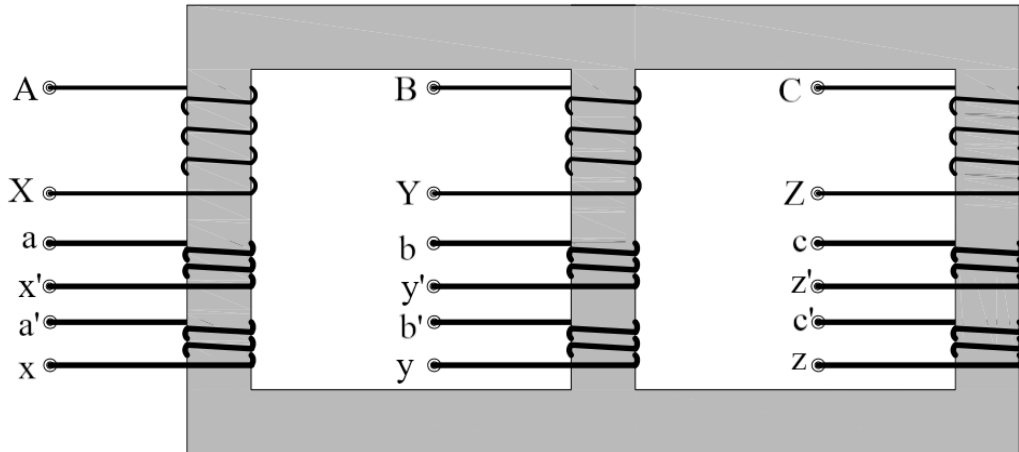


Fig. 17. Determinarea completă a bornelor înfășurărilor transformatorului trifazat.

- Se execută conexiunile date în tabelul de mai sus pentru transformator;
- Se alimentează cu tensiune nominală primarul transformatorului, având secundarul în gol și se măsoară tensiunile la ieșire și calculează raportul de transformare pentru cele 6 conexiuni;

Tabelul 3

Conexiune	<i>Dd</i>	<i>Yy</i>	<i>Dz</i>	<i>Yd</i>	<i>Dy</i>	<i>Yz</i>
$U_1[V]$						
$U_2[V]$						
K						

- Se determina grupa de conexiuni prin metoda celor două voltmetre procedând astfel:
-
- a) Se realizează montajul din Fig. 18. Observație: Alimentarea transformatorului se poate realiza fie pe joasă tensiune fie pe înaltă tensiune (Fig. 18 .a și b).
- b) Se conectează între ele două borne omoloage din primar și secundar de exemplu A cu a (Fig. 18 .a și b)

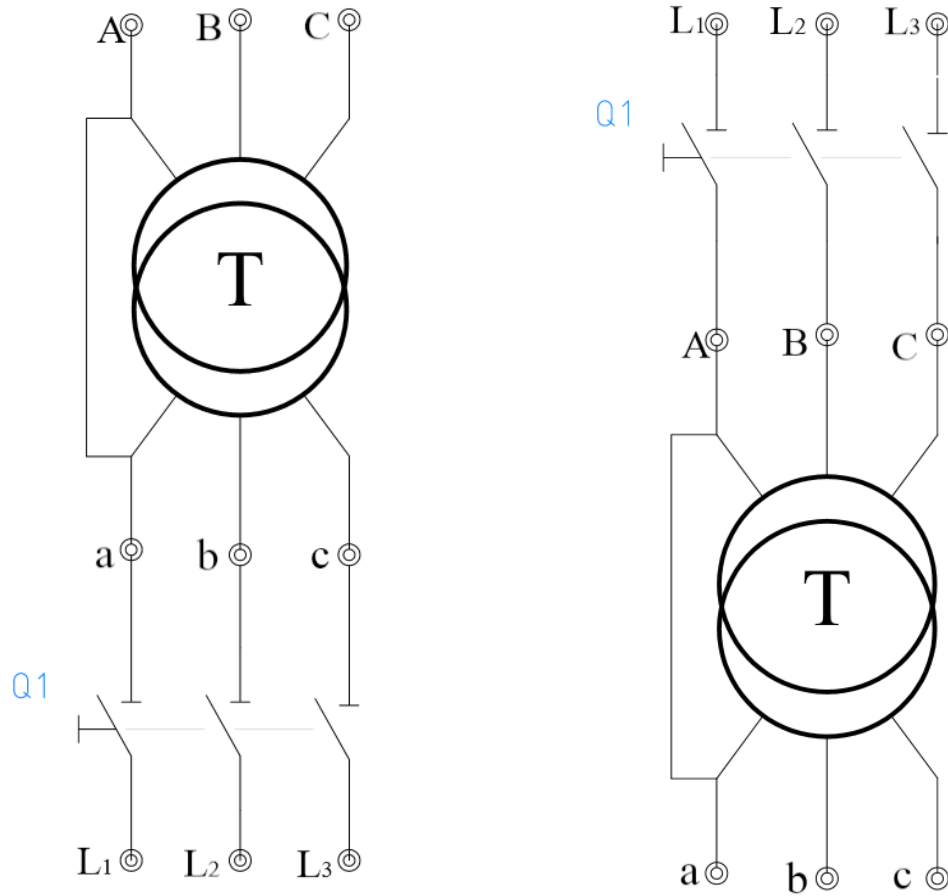


Fig. 18. Montajul pentru determinarea grupei de conexiuni

- a) Alimentare secundar transformator b) Alimentare primar transformator

c) Se măsoară cu un voltmetru, ales corespunzător, tensiunile între diverse borne:

Tabelul 4

U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_{Bb}	U_{Cc}	U_{Cb}	U_{Bc}

- d) Se construiesc la aceeași scară triunghiurile tensiunilor din primar ABC și secundar a,b,c, știind că vârfulurile A și a coincid.
- e) Se măsoară unghiul dintre tensiunile compuse omoloage plecând de la tensiunea compusă pe partea de înaltă tensiune, în sens orar, până la tensiunea de pe partea de joasă tensiune.
- c) Unghiul obținut se împarte la unitatea de 30° numărul obținut prezentând grupa din care face parte conexiunea respectiva".

® Pe fiecare montaj în parte, se vor verifica următoarele proprietăți ale grupelor de conexiuni:

1.Schimbarea începuturilor cu sfârșiturile la o conexiune stea din primar sau secundar modifică defazajul cu 6 ore ($6 \times 30^\circ = 180^\circ$),

2.Schimbarea unei conexiuni în triunghi din N în Z sau invers modificând defazajul cu 2 ore ($2 \times 30^\circ = 60^\circ$) într-un sens sau în celălalt.

3 Permutarea circulară a bornelor la primar sau secundar modifică defazajul cu 4 ore ($4 \times 30^\circ = 120^\circ$) într-un sens sau în celălalt.

4.Schimbarea între ele a două faze la primar și la secundar va modifica sensul relativ de succesiune a fazelor, respectiv defazajul și grupa de conexiuni a transformatorului.

5.Schimbarea între ele a două borne la înfășurarea de înaltă tensiune și a anumitor două borne la cea de joasă tensiune modifică cu 6 ore ($6 \times 30^\circ = 180^\circ$) defazajul transformatoarelor.

Laboratorul numărul 10

Variația de tensiune secundară și randamentul transformatoarelor

A. Variația de tensiune secundară

La funcționarea în sarcină a unui transformator tensiunea la bornele secundarului se modifică față de tensiunea de mers în gol în funcție de natura sarcinii (activă, inductivă, capacitivă sau mixtă). Această modificare, denumită variația de tensiune în secundarul transformatorului se determină cu relația:

$$\Delta U = U_{20} - U_2$$

unde:

- U_{20} este tensiunea la bornele secundarului la funcționarea în gol;
- U_2 - tensiunea la bornele secundarului la funcționarea în sarcină.

Pentru o apreciere mai corectă, variația de tensiune secundară se calculează în mărimi raportate la primar cu relația:

$$\Delta U' = U_1 - U_2'$$

Adeseori, variația de tensiune se exprimă în procente din tensiunea nominală primară:

$$\Delta u = \frac{U_{20}' - U_2'}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

Modul de variație a tensiunii secundare respectiv variația de tensiune secundară în funcție de curentul secundar, pentru diverse tipuri sarcini este următoarea:

- $\varphi > 0$ - sarcină activ-inductivă; - apare o cădere semnificativă a tensiunii în secundar;
- $\varphi = 0$ - sarcină pur activă; - apare o cădere mică a tensiunii în secundarul transformatorului comparativ cu sarcina activ-inductivă;
- $\varphi < 0$ - sarcină activ-capacitivă. - conduce la o creștere a tensiunii în secundarul transformatorului.

B. Randamentul transformatoarelor

La funcționarea în sarcină a transformatorului apar următoarele pierderi:

- pierderi în fier;

- pierderi în cupru;

Randamentul transformatorului reprezintă raportul dintre puterea utilă și puterea absorbită:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1}$$

unde:

P_2 - puterea utilă;

P_1 - Puterea absorbită.

Luând în considerație pierderile în transformator precum și relația de bilanț a puterilor:

$$P_1 = P_2 + \Sigma p$$

obținem pentru randament expresia:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p} = \frac{m \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{m \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 + p_{scN} + p_{Fe}}$$

unde:

m - numărul de faze ale transformatorului;

p_{scN} - pierderile de scurtcircuit nominale sau pierderile Joule;

p_{Fe} - pierderile de mers în gol la tensiune și frecvență nominale ale transformatorului.

Pentru a simplifica expresia randamentului, standardele admit să nu se țină seama de variația de tensiune secundară. Astfel, pentru $U_2=U_{2N}=c.t$ și $\cos\varphi_2=ct$. considerând drept factor de încărcare raportul:

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1N}} = \frac{I_2}{I_{2N}}$$

Astfel expresia randamentului poate fi scrisă:

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_N \cdot \cos\varphi_2}{\beta \cdot S_N \cdot \cos\varphi_2 + \beta^2 \cdot P_{scN} + P_0}$$

unde:

- S_N - puterea aparentă nominală a transformatorului;
- P_{scN} - puterea activă de scurtcircuit;
- P_0 - puterea activă de mers în gol.

Pentru $\cos\varphi_2 = c.t$, singura variabilă este β astfel încât condiția ca randamentul să fie maxim se obține când:

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_{scN}}}$$

Randamentul unui transformator este maxim atunci când pierderile variabile în înfășurările transformatorului sunt egale cu pierderile constante în fier.

Deoarece transformatorul nu are părți în mișcare, pierderile sunt relativ reduse, iar randamentul este foarte ridicat, atingând la transformatoarele de putere valori de 0,98÷0,99.

Valoarea maximă a randamentului este dată de expresia:

$$\eta = \frac{S_N \cdot \cos\varphi_2}{S_N \cdot \cos\varphi_2 + 2 \cdot \sqrt{P_{scN} + P_0}}$$

De asemenea, transformatoarele funcționând timp îndelungat la sarcini mai mici decât sarcinile nominale, raportul pierderilor se alege astfel încât randamentul să rezulte maxim un curent de sarcină $I_1 = (0,3 \div 0,6) \cdot I_{1N}$, în această situație, raportul pierderilor este $P_{scN}/P_0 = 3 \div 1,1$. Pentru transformatoarele de putere se constată că randamentul variază foarte puțin după trecerea valorii maxime.

Procedeu experimental

Lucrarea își propune determinarea variației de tensiune și a randamentului unui transformator monofazat prin ambele metode, directă și indirectă comparându-se în final rezultatele.

- 1. Se realizează schema electrică de montaj din Fig. 1. pentru transformatorul monofazat:*

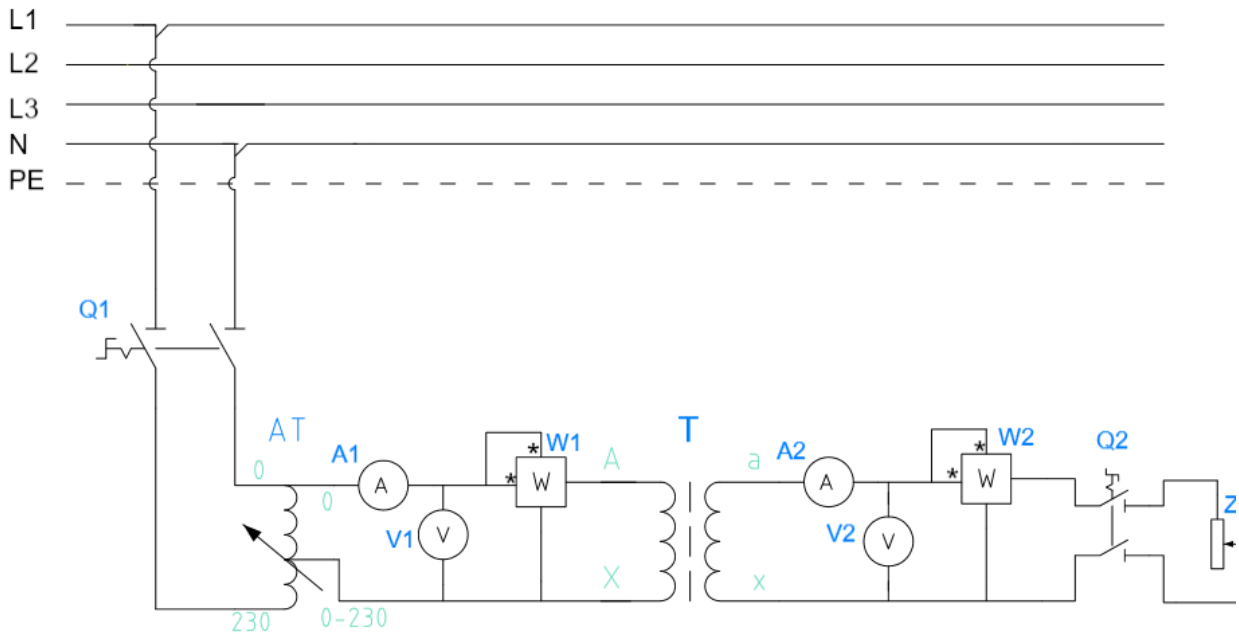


Fig. 1. Încercarea transformatorului monofazat

2. Se realizează încercarea de mers în gol:

- cu Q_2 , deschis, se alimentează primarul transformatorului cu tensiunea nominală $U_1=230Vca$:

- Se măsoară tensiunea la bornele secundare U_2 , curentul absorbit de primar I_0 și puterea absorbită de primar P_0 ;

Prin încercarea de mers în gol se determină următoarele mărimi:

a) Raportul de transformare care se deduce din alimentarea primarului cu tensiune nominală și măsurarea tensiunii de mers în gol în secundarul transformatorului:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

unde tensiunile sunt măsurate pe fază.

b) Curentul de mers în gol: Pentru transformatorul monofazat valoarea acestui curent este citită la ampermetrul montat în primarul transformatorului. La transformatorul trifazat, curentul de mers în gol se ia ca medie aritmetică a curenților de fază de pe cele trei faze ale transformatorului. Valorile maxime admisibile ale curentului de mers în gol sunt fixate, de regulă, prin standarde, în unități relative, în funcție de puterea și de tensiunea transformatorului. Aceste valori variază între $(2\div 10)\% \cdot I_{IN}$, procentul mare referindu-se la transformatoarele de mică putere.

c) Pierderile de mers în gol: Puterea P_0 absorbită de transformator în acest regim de funcționare acoperă pierderile în fier și pe cele în cupru: $P_0 = p_{Fe} + p_{Cu}$

Deoarece curentul de mers în gol este mic, atunci pierderile în cupru sunt neglijabile astfel încât P_0 compensează pierderile în fier prin curenți turbionari și histerezis:

$$p_{Fe} = p_H + p_T$$

Cu valorile nominale obținute pentru I_0 și P_0 se vor calcula parametrii echivalenți ai circuitului magnetic al transformatorului:

- factorul de putere la mersul în gol:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1N} \cdot I_0}$$

- impedanța de magnetizare Z_m :

$$Z_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_{20}}{I_0} = K \cdot \frac{U_{20}}{I_0}$$

- rezistența de magnetizare R_m :

$$R_m = \frac{P_0}{I_0^2}$$

- reactanța de magnetizare X_m :

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2}$$

Rezistențele R_1 și R_2 , reprezintă rezistențele ohmice ale înfășurărilor primară și secundară și se vor determina printr-o metoda cunoscută de măsurare în curent continuu a rezistențelor.

Astfel se completează tabelul:

Tabelul 1

U_{1N} [V]	U_{20} [V]	K	I_0 [A]	P_{10} [W]	Z_m [Ω]	R_m [Ω]	X_m [Ω]	p_{Fe} [W]

3. Se realizează încercarea de scurtcircuit:

- Se închide Q_2 , pe impedanța variabilă Z_s pe valoare;

- Se alimentează primarul transformatorului cu tensiune crescătoare de la zero, cu ajutorul autotransformatorului, până când înfășurarea secundară este parcursă de curentul nominal I_{2N} .

Astfel la încercarea de scurtcircuit se determină următoarele mărimi:

a) Tensiunea de scurtcircuit.

Tensiunea cu care a fost alimentat primarul transformatorului în regim de scurtcircuit, la atingerea curentului $I_{2sc} = I_{2N}$, se numește tensiune nominală de scurtcircuit. Această mărime este

foarte importantă în funcționarea transformatorului fiind specificată de regulă pe plăcuța indicatoare a acestuia.

Tensiunea de scurtcircuit este fixată prin standarde, în funcție de puterea și tensiunea nominală ale transformatorului, fiind exprimată în procente și variază între (5,5÷10,5)% din tensiunea primară nominală ($U_{sc}=5,5\div 10,5\%U_{1N}$).

b) Pierderile de scurtcircuit

Tensiunea de scurtcircuit aplicată transformatorului fiind redusă, fluxul și inducția magnetică din miez sunt relativ mici, astfel încât pierderile în fier pot fi neglijate. De asemenea, se neglijează, datorită valorii reduse, și curentul de magnetizare (de mers în gol), astfel încât relația între curenții nominali din primar și secundar este: $I_{1N} = I'_2$ unde I'_2 este curentul nominal secundar raportat.

Puterea utilă a transformatorului fiind nulă deoarece $U_2=0$, puterea absorbită de primar P_{scN} reprezintă pierderile în cuprul transformatorului corespunzătoare sarcinii nominale (p_{scN}):

$$P_{scN} = p_{scN} = R_{sc} \cdot I_{1N}^2$$

Se măsoară valorile nominale obținute în regim de scurtcircuit calculându-se parametrii de scurtcircuit și componentele tensiunii de scurtcircuit ale transformatorului:

- rezistența de scurtcircuit R_{sc} :

$$R_{sc} = \frac{P_{scN}}{I_{1N}^2}$$

- impedența de scurtcircuit Z_{sc} :

$$Z_{sc} = \frac{U_{sc}}{I_{1N}}$$

- reactanța de magnetizare X_{sc} :

$$X_{sc} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{sc}^2}$$

- componenta activă a tensiunii de scurtcircuit în unități fizice respectiv procentual din U_{1N} :

$$U_{sca} = R_{sc} \cdot I_{1N}$$

$$U_{sca} = \frac{R_{sc} \cdot I_{1N}}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

- componenta reactivă a tensiunii de scurtcircuit în unități fizice sau procente:

$$U_{scr} = X_{sc} \cdot I_{1N}$$

$$u_{scr} = \frac{X_{sc} \cdot I_{1N}}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

Cu valorile obținute pentru componentele tensiunii de scurtcircuit (U_{sc} , U_{sca} și U_{scr}) se construiește triunghiul de scurtcircuit care, pentru sarcina nominală $I_{1sc}=I_{1N}$ poartă denumirea de triunghiul fundamental de scurtcircuit (Fig. 2).

Tabelul 2

U_{1N} [V]	I_{sc} [A]	P_{1sc} [W]	Z_{sc} [Ω]	R_{sc} [Ω]	X_{sc} [Ω]	p_{Cu} [W]	U_{sca}	U_{scr}

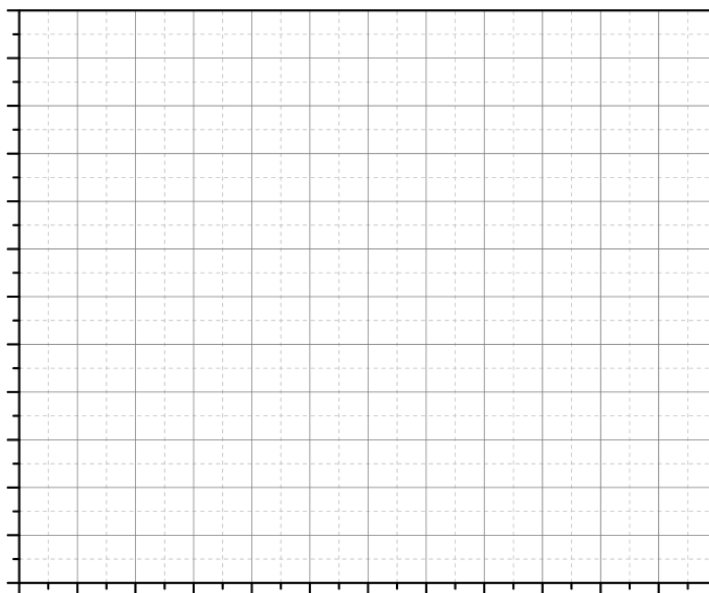


Fig. 2 – Triunghiul fundamental de scurtcircuit

Triunghiul de scurtcircuit fiind un triunghi dreptunghic la construirea lui sunt necesare două laturi: U_{sca} și U_{scr} . și va rezulta astfel φ_{sc} , unghiul dintre cele două tensiuni) e reprezintă defazajul transformatorului. Valoarea acestui defazaj este dată de relația:

$$\operatorname{tg} \varphi_{sc} = \frac{U_{scr}}{U_{sca}} = \frac{X_{sc}}{R_{sc}}$$

Acest defazaj variază cu puterea transformatorului. La transformatoarele mari se poate neglija componenta activă a tensiunii de scurtcircuit.

4. Se realizează încărcarea în sarcină a transformatorului:

- se alimentează transformatorul de la rețea cu tensiunea nominală $U_1=U_{1N}$;
- se închide întrerupătorul Q2, pe impedanța de sarcină Z_s ;

- pentru diverse impedanțe de sarcină la $\varphi > 0$ - sarcină activ-inductivă, la $\varphi = 0$ - sarcină pur activă și $\varphi < 0$ - sarcină activ-capacitivă se variază curentul din circuitul secundar de la 0 la $1,25 \cdot I_{1N}$.
- se completează tabelul 3 cu rezultatele obținute pentru fiecare tip de sarcină cu care s-a încărcat transformatorul.

- Tabelul 3

Tipul de sarcină	U_1 [V]	I_1 [A]	P_1 [W]	$\cos \varphi_1$	U_2 [V]	I_2 [A]	P_2 [W]	$\cos \varphi_1$	ΔU [V]	η
$\varphi > 0$ - Rs activ-inductivă										
$\varphi = 0$ - Rs pur activă										
$\varphi < 0$ - Rs activ-capacitivă										

- Se trasează caracteristicile: $U_2=f(I_2)$, $\eta=f(I_2)$ $\Delta U=f(I_2)$ pentru toate cele trei tipuri de sarcină.

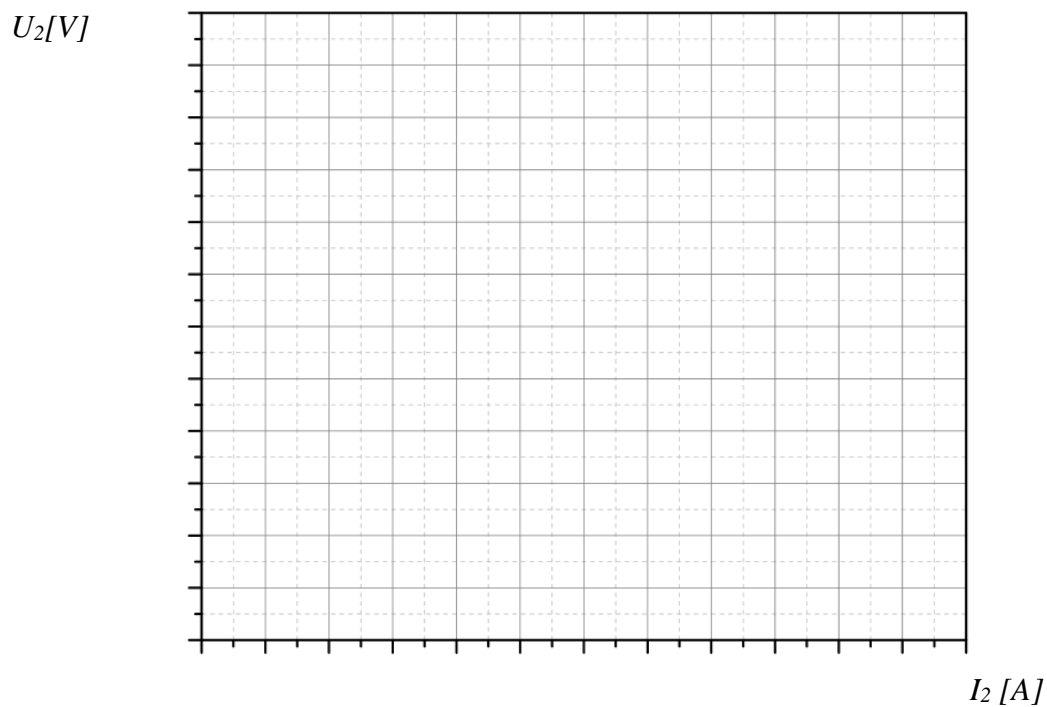


Fig. 3 – Variația tensiunii în secundarul transformatorului

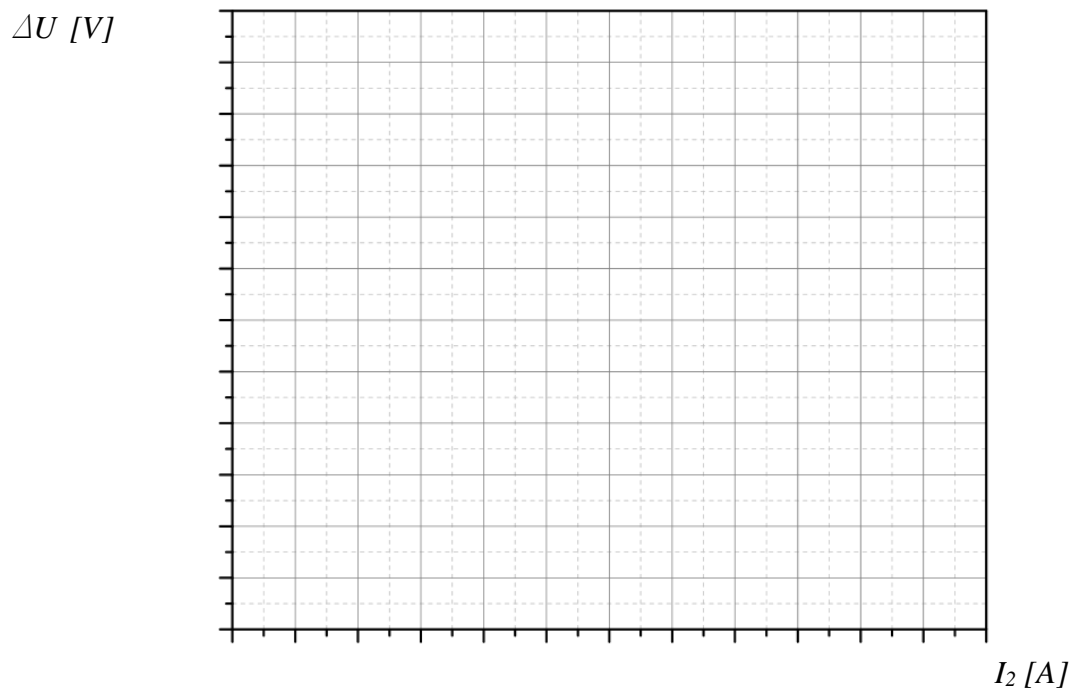


Fig. 4 – Caderea de tensiune în secundarul transformatorului

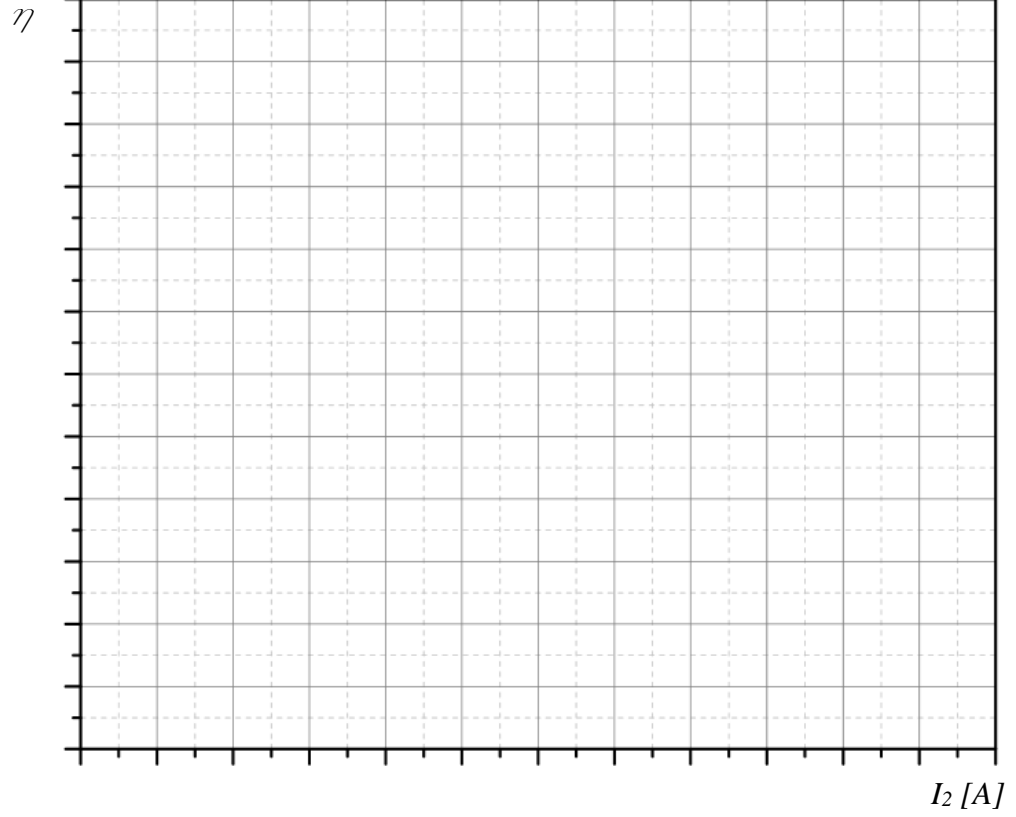


Fig. 5 – Randamentul transformatorului

Laboratorul numărul 11

Cuplarea și funcționarea în paralel a transformatoarelor

Două sau mai multe transformatoare funcționează în paralel atunci când au bornele primare sunt conectat la aceeași sursă de tensiune iar bornele secundare sunt conectate la aceeași rețea de alimentare a unui consumator de tensiune U_2 .

Cuplarea în paralel a mai multor transformatoare se justifică în cazul surselor ce alimentează receptoare care se dezvoltă într-un timp mai îndelungat sau în cazul necesității asigurării unei rezerve pentru receptoarele cu funcționare continuă.

În general, se cuplează în paralel transformatoare care au același număr de faze (monofazate – și trifazate Fig.1).

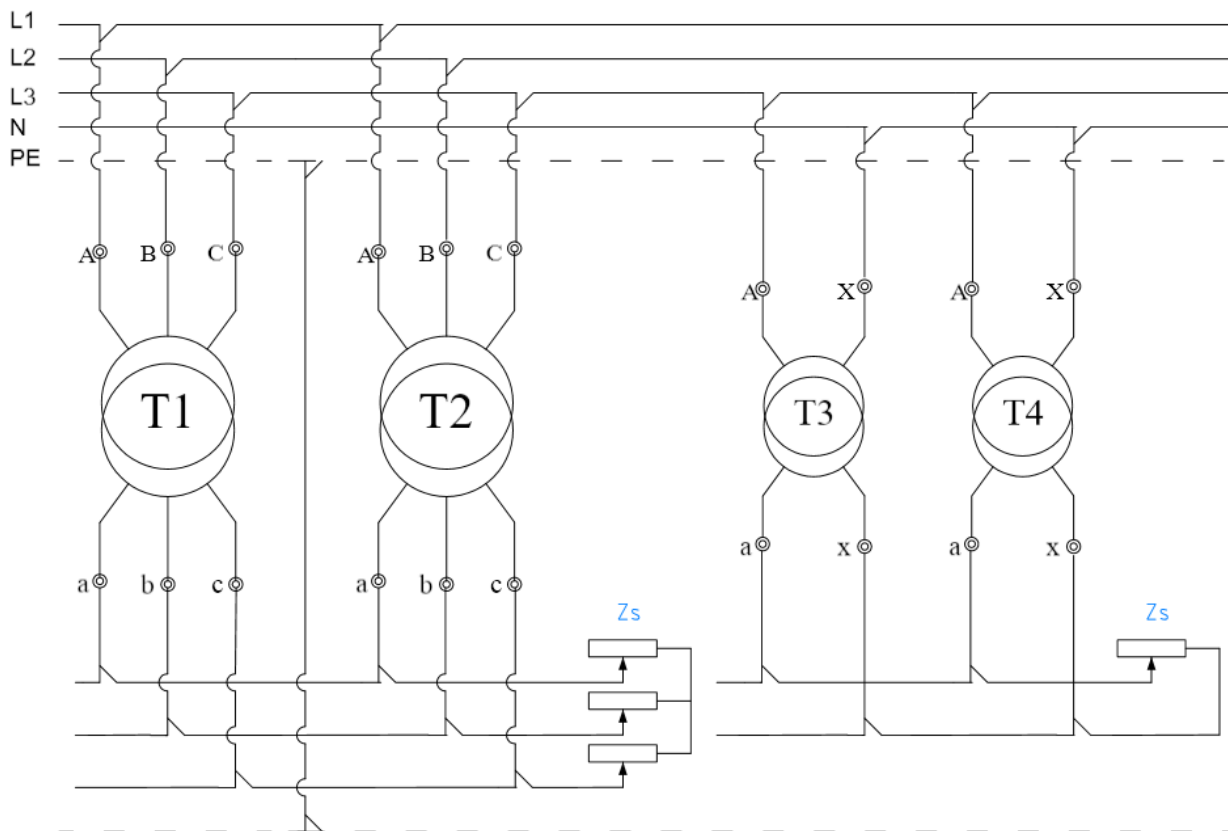


Fig. 1. Cuplarea în paralel a transformatoarelor trifazate respectiv monofazate

Cazurile cele mai frecvente de cuplare în paralel a mai multor transformatoare se întâlnesc în stațiile electrice de transformare care alimentează receptoare ce se dezvoltă treptat, în mai mulți ani, ca putere cerută. În aceste cazuri apare necesitatea înzestrării treptate a stației cu unitățile necesare, pe măsura dezvoltării receptorului deservit de stație. Se rezolvă în acest fel, problema asigurării continue cu energie electrică a receptorului deoarece, la defectarea unei unități

transformatorice celelalte pot suporta, total sau parțial, pentru o perioadă predeterminată, întreaga sarcină

De asemenea, în scopul reducerii pierderilor de energie și a utilizării transformatoarelor cu un randament maxim, în cazul unor sarcini reduse pe anumite perioade ale zilei sau ale anului, există posibilitatea scoaterii din funcție a uneia sau a mai multor unități cuplate în paralel.

Problema de bază care apare la funcționarea în paralel a mai multor transformatoare este aceea a asigurării unei repartiții uniforme între transformatoare a puterii cerute de receptor. La conectarea în paralel a unor transformatoare identice ca putere și construcție această condiție este realizată de la sine. În practică apar situații de cuplare în paralel a unor transformatoare diferite ca putere și construcție, astfel încât trebuie puse în evidență particularitățile acestor cazuri. Pentru ca transformatoarele cuplate în paralel să funcționeze normal este necesară îndeplinirea a două condiții cu caracter general:

- 1. La funcționarea în gol să nu apară curenți de circulație prin înfășurările secundare ale transformatoarelor. Acești curenți produc pierderi importante în transformatoare și limitează puterea acestora.*
- 2. La funcționarea în sarcină fiecare din transformatoarele cuplate în paralel trebuie să se încarce cu o putere proporțională, cu puterea lui nominală, iar curenții secundari ai transformatoarelor să se sumeze algebric (să fie în fază).*

Dacă transformatoarele cuplate în paralel nu participă la sarcina finală cu puteri proporționale cu puterile lor nominale, apare situația când în unul dintre transformatoare se atinge curentul nominal iar în celelalte se stabilesc încărcări de suprasarcini. De asemenea, dacă curenții secundari ai transformatoarelor nu sunt în fază atunci curentul de sarcină total este mai mic decât suma algebrică a acestora. În acest caz rețeaua receptoare nu mai poate fi încărcată cu suma puterilor nominale ale transformatoarelor cuplate decât în situația unei supraîncărcări a acestora.

Realizarea acestor condiții generale impune o serie de condiții concrete pe care trebuie să le îndeplinească fiecare transformator în parte pentru a obține o funcționare corectă atunci când sunt cuplate în paralel.

La funcționarea în gol înfășurările secundare nu vor fi străbătute de curenți de circulație dacă tensiunile electromotoare induse sunt egale și în fază. Realizarea acestui fapt are loc atunci când fiecare din transformatoarele cuplate în paralel respectă următoarele condiții:

- 1. Steaua fazorilor tensiunilor secundare a fiecărui transformator ocupă aceeași poziție față de steaua fazorilor tensiunilor primare. Pentru transformatoarele monofazate acest lucru este realizat dacă bornele transformatoarelor sunt conectate la bare în aceeași ordine, în cazul transformatoarelor trifazate condiția este realizată dacă transformatoarele fac parte din aceeași grupă de conexiuni; Această condiție asigură faptul ca t.e.m. induse să fie în fază;*
- 2. Transformatoarele trebuie să aibă același raport de transformare pentru a asigura egalitatea tensiunilor induse. La funcționarea în sarcină curentul secundar al transformatoarelor se va repartiza proporțional cu puterile lor nominale dacă impedanțele ce produc căderi de tensiune sunt în raport de inversă proporționalitate cu puterile*

nominale ale transformatoarelor. Acest lucru se obține când tensiunile nominale de scurtcircuit ale transformatoarelor sunt egale.

Curenții secundari vor fi în fază și se vor suma algebric dacă raportul dintre rezistența și reactanța de scăpări pentru fiecare transformator în parte va fi același. Cu alte cuvinte, în triunghiurile de scurtcircuit unghiul φ_{sc} trebuie să fie același.

Realizarea practică a acestor condiții nu se poate face riguros încât sunt permise prin norme abateri în limite prestabilite. Din această cauză, având în vedere aceste abateri, se mai impune o condiție suplimentară referitoare la faptul că raportul puterilor nominale ale transformatoarelor conectate în paralel să fie de 1/3 maxim 1/4.

În concluzie, pentru o bună comportare a transformatoarelor la funcționarea în paralel este necesară respectarea următoarelor

- * transformatoarele să aibă același raport de transformare;*
- * transformatoarele să facă parte din aceeași grupă de conexiuni;*
- * transformatoarele să aibă tensiunile de scurtcircuit egale ca modul și fază;*
- * puterile nominale ale transformatoarelor să fie în raport de 1/3 maxim 1/4.*

Conform normativelor, sunt admise abateri pentru rapoartele de transformare în limita $\pm 0,5\%$, iar pentru tensiunile de scurtcircuit de $\pm 10\%$. Odată admise aceste toleranțe rezultă că o funcționare normală a transformatoarelor cuplate în paralel este îndeplinită dacă puterile lor nominale sunt într-un raport mai mic de 1/4.

Procedeu experimental

Cuplarea în paralel a două transformatoare monofazate.

Se realizează schema electrică de cuplare în paralel a două transformatoare monofazate (identice), T1, și T2 (Fig.2).

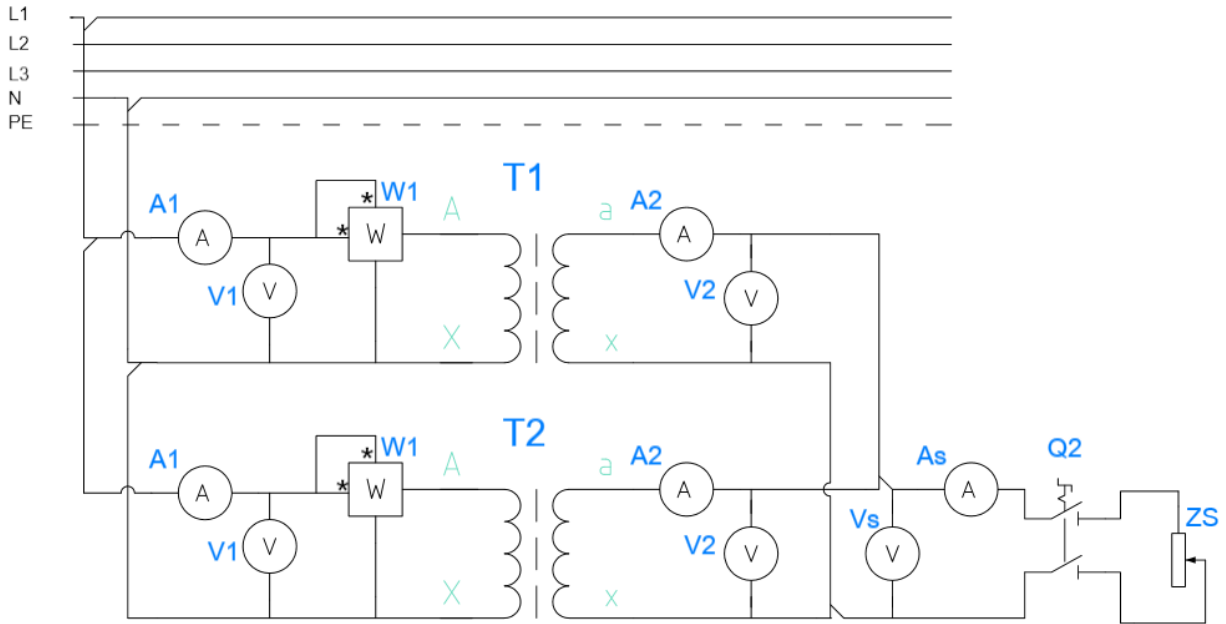


Fig.2. Schema de cuplare în paralel a două transformatoare monofazate

- Având întrerupătorul Q_2 deschis, se vor cupla transformatoarele la gol verificându-se rapoartele de transformare ale acestora prin măsurarea tensiunilor cu voltmetrele V_1 și V_2 .
- Cu ajutorul ampermetrelor A_1 și A_2 se va pune în evidență lipsa curentului de circulație sau se va determina valoarea acestuia.
- Se închide întrerupătorul Q_2 și se reglează curentul de sarcină cu ajutorul reostatului de sarcină Z_s , crescător de la zero până la dublul curentului nominal secundar al fiecărui transformator. Pentru diverse valori ale sarcinii se completează tabelul 1.

Tabelul 1

Transformator T1					Transformator T2						
U_1	I_1	P_1	U_2	I_2	U_1	I_1	P_1	U_2	I_2	I_s	U_s
[V]	[A]	[W]	[V]	[A]	[V]	[A]	[W]	[V]	[A]	[V]	[V]

Cu datele obținute, se vor trasa pentru fiecare transformator următoarele caracteristici: $P_1=f(I_s)$; $I_1=f(I_s)$; $I_2=f(I_s)$ și se vor trage concluziile privind repartizarea sarcinii pe cele două transformatoare.

Cuplarea în paralel a două transformatoare trifazate.

Se realizează schema electrică de cuplare a două transformatoare trifazate identice T1 și T2 (Fig.3).

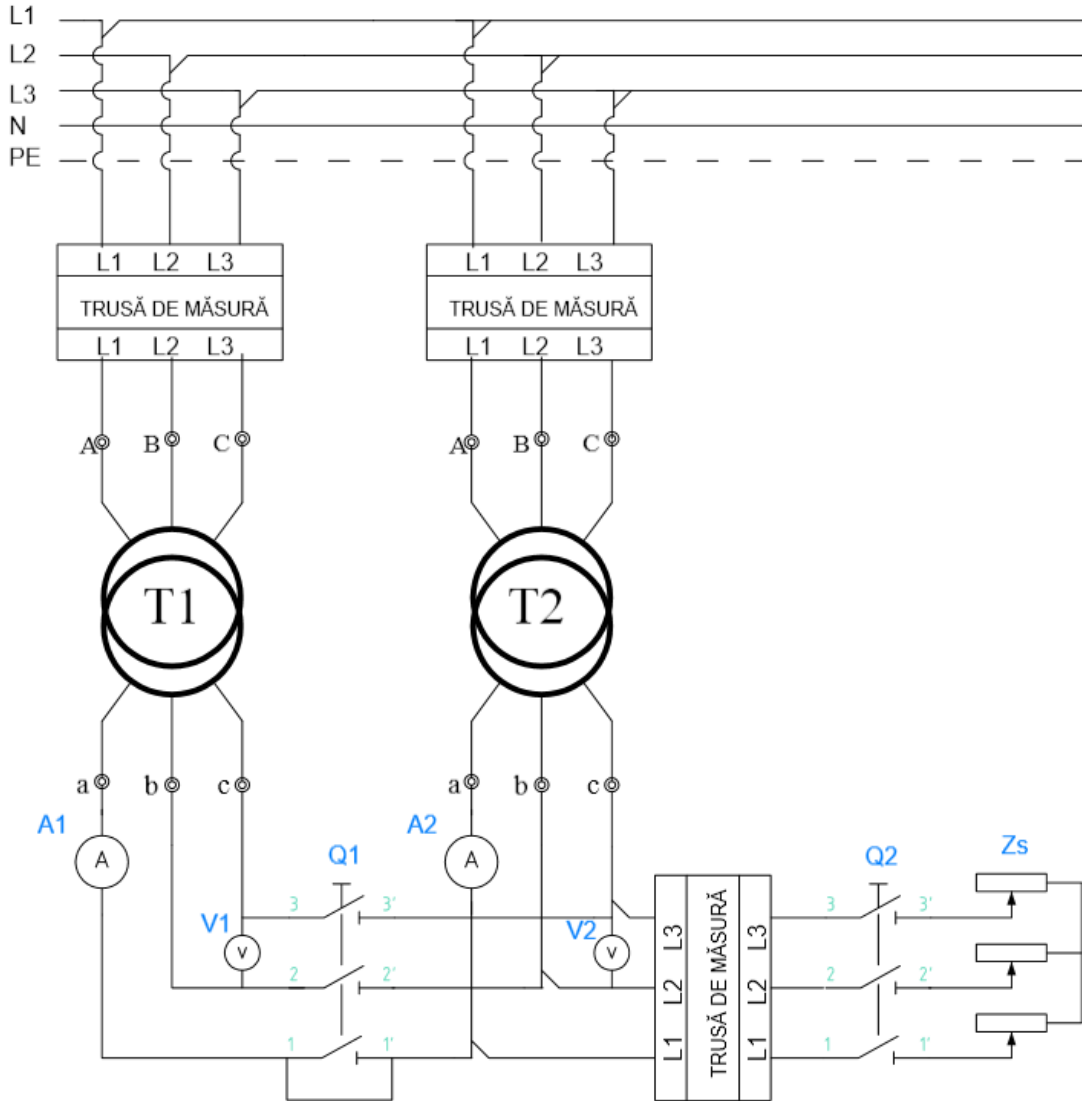


Fig. 3. Schema de cuplare în paralele a transformatoarelor trifazate

Se realizează aceeași conexiune pentru ambele transformatoare. Acestea fiind identice se va verifica doar condiția ca acestea să aparțină aceleiași grupe de conexiuni adică transformatoarele să aibă aceleași aceleași raport transformare iar steaua fazorilor tensiunilor secundare pentru fiecare transformator în parte să ocupe aceeași poziție față de steaua fazorilor tensiunilor primare.

Observație: în cazul în care transformatoarele nu sunt identice trebuie verificată și condiția egalității în modul și fază a tensiunilor relative de scurtcircuit prin efectuarea unei încercări de probă la scurtcircuit și construirea triunghiurilor de scurtcircuit pentru fiecare transformator.

- Se cuplează cele două transformatoare la rețeaua de alimentare având întrerupătoarele Q_1 și Q_2 deschise;

- Bornele 1 și 1' de la întrerupătorul de cuplare în paralel Q_1 se aduc la același potențial (prin legătura galvanică 1-1') și se măsoară cu voltmetrul V tensiunile la perechile de borne 1-2; 1-3; 2-3; 1'-2'; 1'-3'; 2'-3' care trebuie să fie egale.

- Se măsoară tensiunile 2-2' și 3-3'. Dacă acestea sunt nule atunci întrerupătorul Q_1 poate fi închis realizându-se cuplarea la gol a celor două transformatoare.

- Dacă tensiunile măsurate la bornele 2-2' și 3-3' sunt diferite de zero, ambele sau cel puțin una, înseamnă că transformatoarele nu, fac parte din aceeași grupă de conexiuni sau la cuțitele întrerupătorului Q_1 nu au fost legate bornele secundare omoloage ale acestora. În această situație se notează valorile tensiunilor măsurate la bornele 2-2', 3-3', 2-3' și 3-2' și se construiesc triunghiurile tensiunilor compuse secundare ale celor două transformatoare 1-2-3 și 1'-2'-3'.

Pentru aceasta se procedează în felul următor: se construiește un triunghi echilateral ale cărui laturi sunt proporționale cu tensiunile de linie măsurate anterior (1-2, 1-3, etc). Se notează varfunie acestui triunghi cu 1-2-3 în sens orar.

În continuare, se construiește triunghiul 1'-2'-3' corespunzător secundarului transformatorului T2. Deoarece s-a realizat legătura galvanică 1-1' înseamnă că punctele 1 și 1' vor coincide pe diagrama fazorială. Pentru determinarea vârfurilor 2' și 3' se folosesc tensiunile măsurate după cum urmează: proporțional cu tensiunea 2-2' se ia un segment între ghearele unui compas, se fixează vârful acestuia în 2 și se trasează un arc de cerc. Se ia apoi între ghearele compasului un segment proporțional cu tensiunea 3-2', se fixează vârful compasului în 3 și se trasează din nou un arc de cerc. Intersecția celor două arce dă punctul 2'. Se procedează analog și pentru determinarea punctului 3' folosindu-se tensiunile 2-3' și 3-3'. Se trasează apoi triunghiul 1'-2'-3'.

Triunghiul tensiunilor 1'-2'-3' în raport cu triunghiul 1-2-3 poate avea diferite poziții urmând ca prin operații corespunzătoare de permutare a bornelor să se realizeze suprapunerea perfectă a celor două triunghiuri.

În figura 4 sunt date eventualele poziții ce pot fi obținute pentru două triunghiuri în cazul în care transformatoarele au grupe diferite de conexiuni.

Pentru situația din figura 4.b) ordinea de succesiune a fazelor secundarului transformatorului T2 este inversă față de T1, astfel încât vor schimba între ele legăturile la bornele 2'-3'.

Pentru situația din figura 5.c), pentru a suprapune cele două triunghiuri se vor inversa între ele bornele 1-2.

Pentru situația din figura 5.d) (transformatoarele T1 și T2 având deplasări unghiulare diferite cu 4 ore) se va realiza o permutare ciclică a bornelor 1-2,-3 respectiv se va trece 1 la 2, 2' la 3' și 3' la 1.

Pentru situația din figura 5.e) în care transformatoarele T1, și T2 au deplasări unghiulare ce diferă cu 6 ore, se va realiza o "rotație" (o modificare a grupei de conexiuni a unuia din transformatoare cu 6 ore) operația, realizându-se la transformatorul la care există cel puțin o conexiune în stea

prin inversarea începuturilor cu sfârșiturile între ele (se schimbă nulul stelei). Dacă va fi necesar se va efectua și o "translație" (cazurile 5b)-5d) prin permutarea bornelor acolo unde este cazul. Dacă nu există nici o conexiune în stea atunci se va schimba felul unei conexiuni în triunghi (din "Z" în "N" sau invers) după care se va opera o "translație" prin permutarea bornelor, dacă este necesar.

Situația din figura 5.f) este asemănătoare celei din figura 5.e.

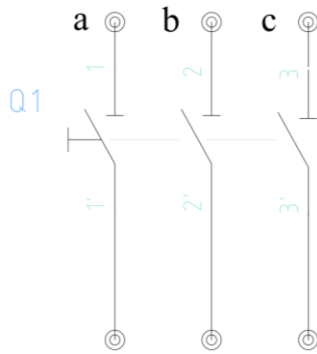
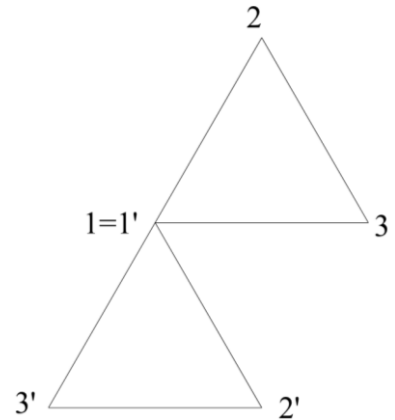
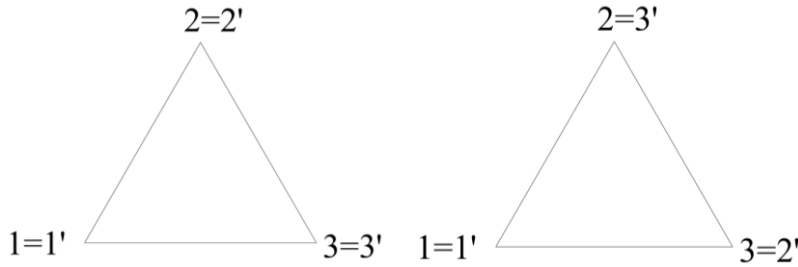


Fig. 4 a)

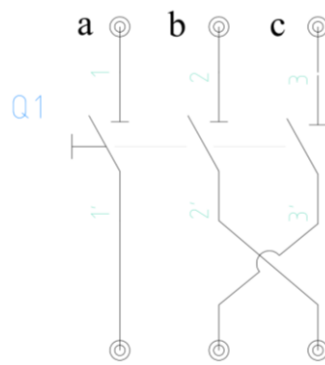


Fig. 4 b)

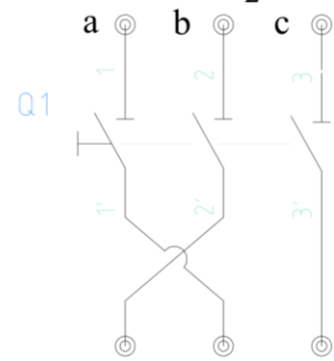
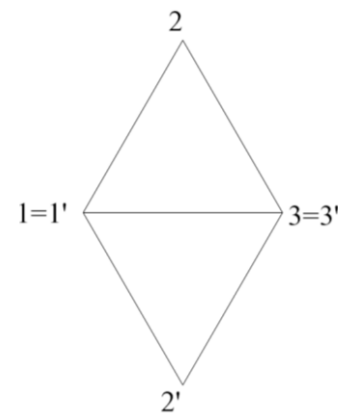
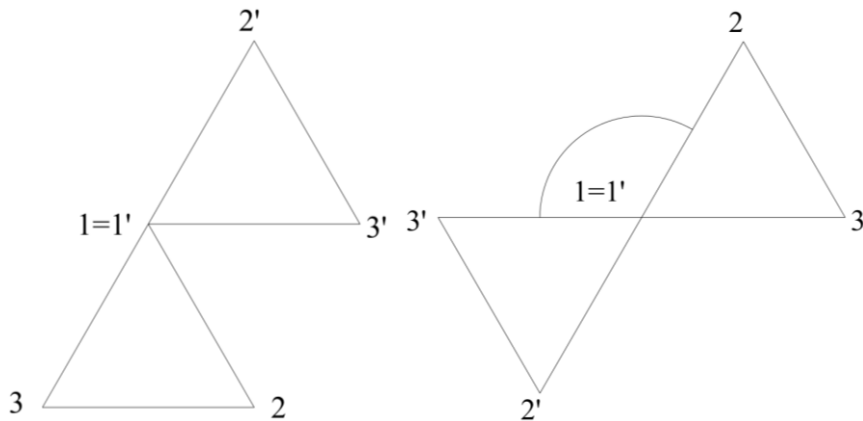


Fig. 4 c)



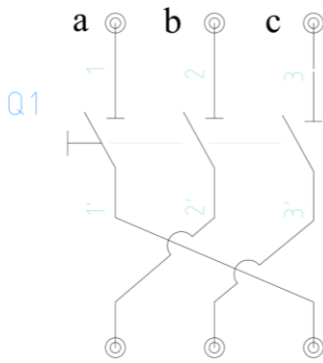


Fig. 4 d)

Fig. 4 e)

Fig. 4 f)

Observație: După fiecare din operațiile efectuate în vederea suprapunerii celor două triunghiuri 1-2-3 și 1'-2'-3' se vor verifica tensiunile 2-2', 3-3'. Numai după asigurarea că acestea sunt nule se va închide întrerupătorul Q_1 .

După închiderea întrerupătorului Q_1 , se verifică curentul de circulație I_2 la mersul în gol.

Se închide Q_2 , și se crește curentul de sarcină I_s , de la zero la dublul valorii nominale a curentului de sarcină al unui transformator, prin modificarea valorii reostatului de sarcină R_s . Pentru diverse valori ale sarcinii se completează tabelul 2.

Laboratorul numărul 12

Transformatorul pentru sudură

Pentru a realiza aprinderea și întreținerea în cele mai bune condiții este necesar ca transformatoarele de sudură să aibă tensiunea de funcționare în gol de 65 până la 85V, iar în timpul operației de sudură tensiunea trebuie să ajungă la 20 până la 35V.

De asemenea, aceste transformatoare trebuie să suporte un regim intermitent de lucru, cu schimbări bruște, de la gol la scurtcircuit. Realizarea unei suduri bune impune pe cât posibil o valoare constantă a curentului atunci când, modificând lungimea arcului, variază impedanța circuitului secundar al transformatorului. Realizarea acestor condiții se obține prin caracteristici externe foarte "căzătoare". Alura căzătoare a caracteristicilor externe se obține dacă transformatorul de sudură prezintă o reactanță de scăpări ridicată sau dacă se mărește artificial această reactanță.

Valoarea reactanței transformatorului de sudare va fi astfel stabilită încât curentul de scurtcircuit să nu depășească dublul valorii nominale. Necesitatea unor caracteristici externe diferite este impusă de utilizarea aceluiași transformator pentru diverse grosimi ale electrozilor de sudură date procesului de sudare.

După modul în care se realizează modificarea valorii reactanței de scăpări, se disting două tipuri principale de transformatoare:

- a) cu reactanță mărită prin construcție;*
- b) cu reactanță auxiliară.*

Transformatoare de sudare cu reactanță proprie mărită prin construcție

Valoarea mărită a reactanței de scăpări se obține constructiv prin dispunerea înfășurărilor primare și secundare pe coloane diferite. Același rezultat se poate obține menținând așezarea obișnuită a înfășurărilor dar prevăzând transformatorul cu un șunt magnetic ce "leagă" între ele două coloane sau juguri. Șunturile pot fi fixe sau deplasabile. În Figura 1 este reprezentat un transformator de sudare cu șunt deplasabil.

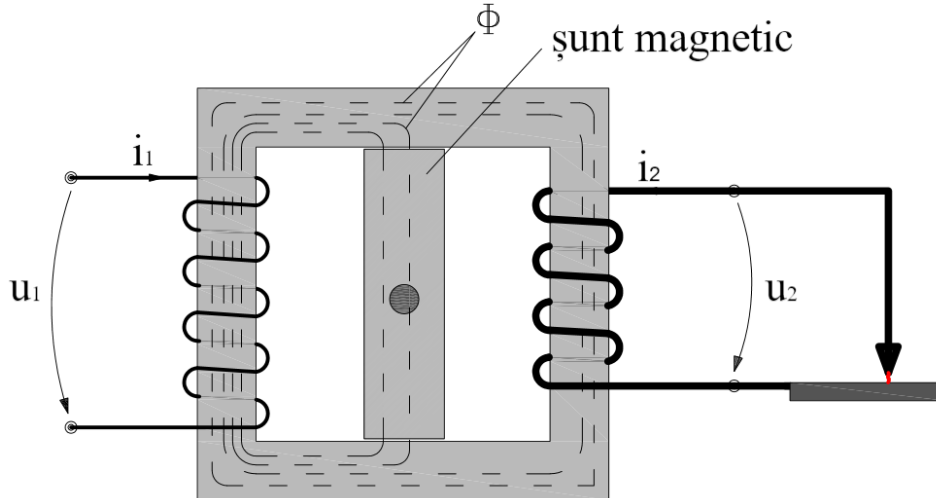


Fig. 1. Transformator de sudare cu șunt magnetic

Valoarea reluctanței circuitului magnetic principal al transformatorului poate fi modificată, pentru a stabili o anumită valoare a curentului de sudare, prin deplasarea șuntului. (perpendicular pe planul figurii) astfel încât fluxul de scăpări să varieze după necesitatea procesului de sudare. Caracteristicile externe $U=f(I_2)$ obținute sunt situate între curbele i_{jmi} (a corespunzătoare șuntului complet introdus și șuntului complet scos (după cum se va observa în procedeul experimental). Tensiunea de mers în gol U_{20} este practic constantă indiferent de poziția șuntului. Modificarea tensiunii secundare de mers în gol U_{20} poate fi realizată cu ajutorul unor prize intermediare prevăzute în circuitul înfășurării primare. Curentul de sudare este cu atât mai mic cu cât fluxul deviat prin șunt este mai mare, modificarea poziției șuntului conducând la un reglaj continuu al curentului de sudare. De asemenea, și circuitul secundar poate fi realizat din semibobine ce pot fi conectate în serie sau paralel astfel încât să existe o posibilitate în plus de modificare a valorii curentului de sudare după necesități.

Fiind economic și robust, transformatorul de sudare cu șunt magnetic este utilizat pe scară largă în industrie. Acesta prezintă dezavantajul unei construcții monofazate, încărcând nesimetric rețeaua de distribuție iar șuntul fiind supus unor vibrații puternice funcționarea transformatorului fiind însoțită de zgomot.

Transformatoare cu bobină de reactanță auxiliară separată

În acest caz, secundarul unui transformator de construcție normală T este înseriat cu o bobină de reactanță reglabilă B care mărește impedența totală a circuitului de sarcină (Fig.2).

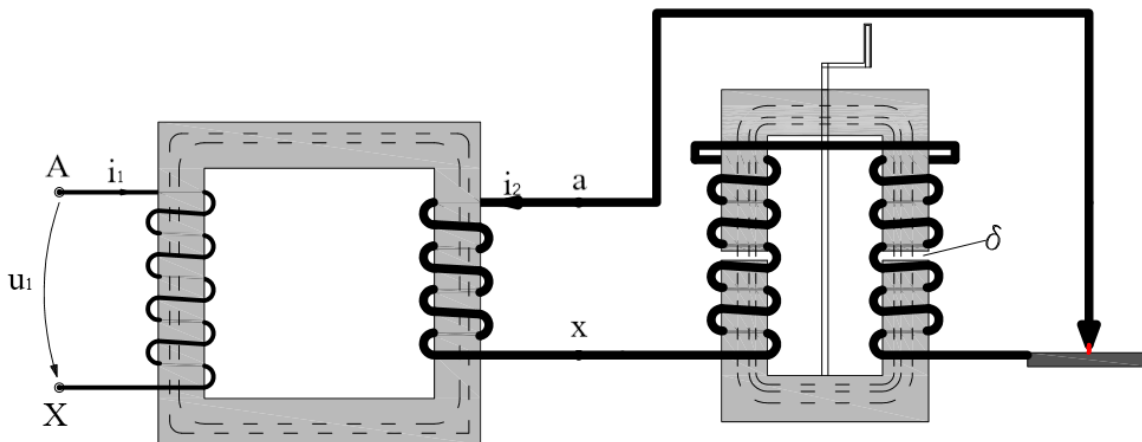


Fig. 2. Transformator de sudură cu reactanță auxiliară

Curentul de sudare se realizează prin modificarea întrefierului din cicuitul magnetic al bobinei de reactanță reglabilă B.

Procedeu experimental

În cazul unui transformator cu șunt magnetic se va realiza montajul din Fig. 3.

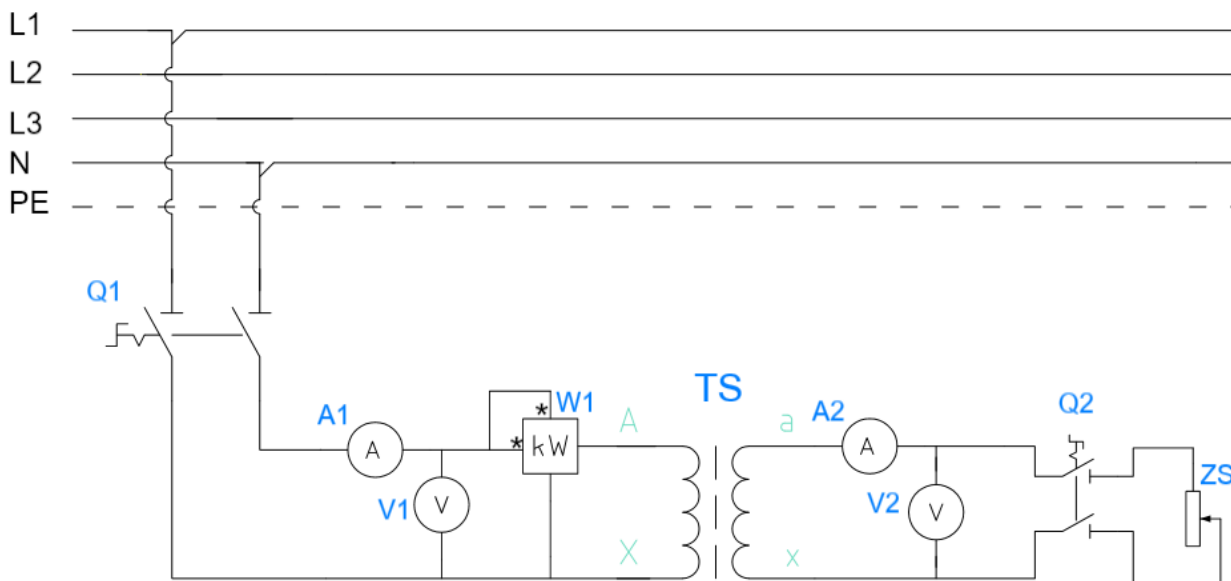


Fig .3. Schema de încercare a transformatorului cu șunt magnetic

Se vor studia caracteristicile de funcționare ale transformatorului de sudare cu șunt magnetic pentru trei poziții ale șuntului: șunt complet scos (funcționarea este asemănătoare cu a unui transformator de construcție obișnuită), șunt introdus pe jumătate și șunt complet introdus.

Rezistența variabilă a arcului electric este simulată prin modificarea valorii impedanței Z_s . Pentru fiecare poziție a șuniului se vor citi valorile indicate de aparatele de măsură pentru diverse puncte de funcționare (diverse valori ale rezistenței, inclusiv pentru situația de scurtcircuit realizată cu un scurtcircuitor), și se va completa următoarele tabele.

Șunt complet introdus:

U_1 [V]	I_1 [A]	P_1 [W]	$\cos \varphi_1$	U_2 [V]	I_2 [A]	P_2 [W]	η

Șunt introdus la jumătate:

U_1 [V]	I_1 [A]	P_1 [W]	$\cos \varphi_1$	U_2 [V]	I_2 [A]	P_2 [W]	η

Șunt neintrodus:

U_1 [V]	I_1 [A]	P_1 [W]	$\cos \varphi_1$	U_2 [V]	I_2 [A]	P_2 [W]	η

Se vor trasa caracteristicile:

- caracteristica externă: $U_2=f(I_2)$ - pune în evidență influența prezenței șuntului asupra pantei caracteristice;

- caracteristica randamentului: $\eta=f(P_2)$

- caracteristica factorului de putere și a curentului absorbit: $\cos \varphi = f(P_2)$;
- caracteristica curentului absorbit $I_1 = f(P_2)$.

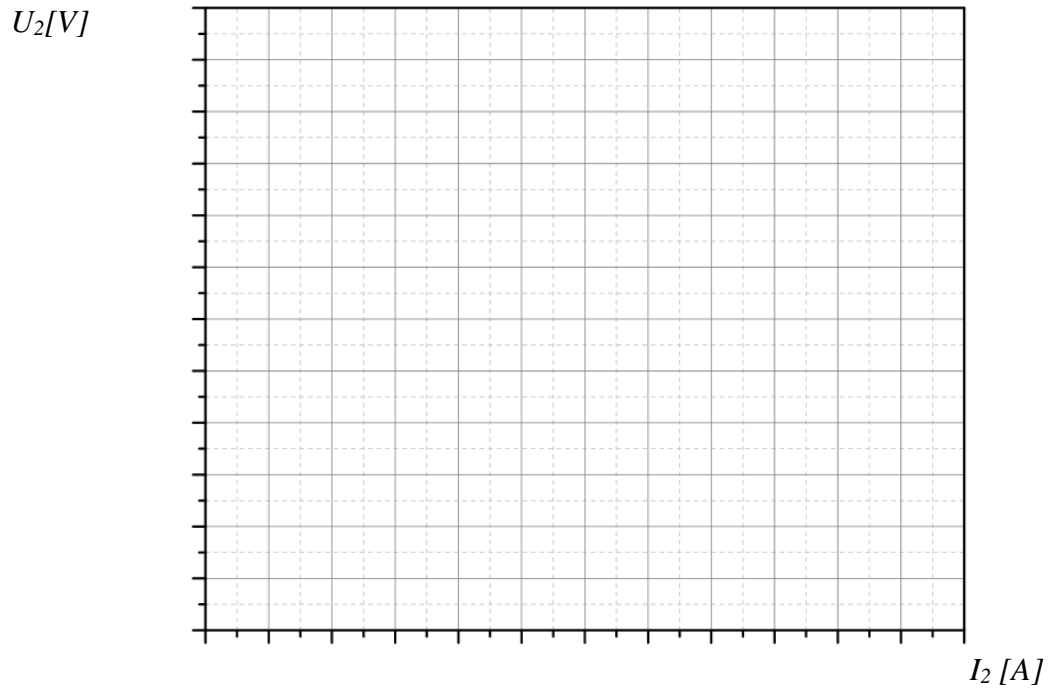
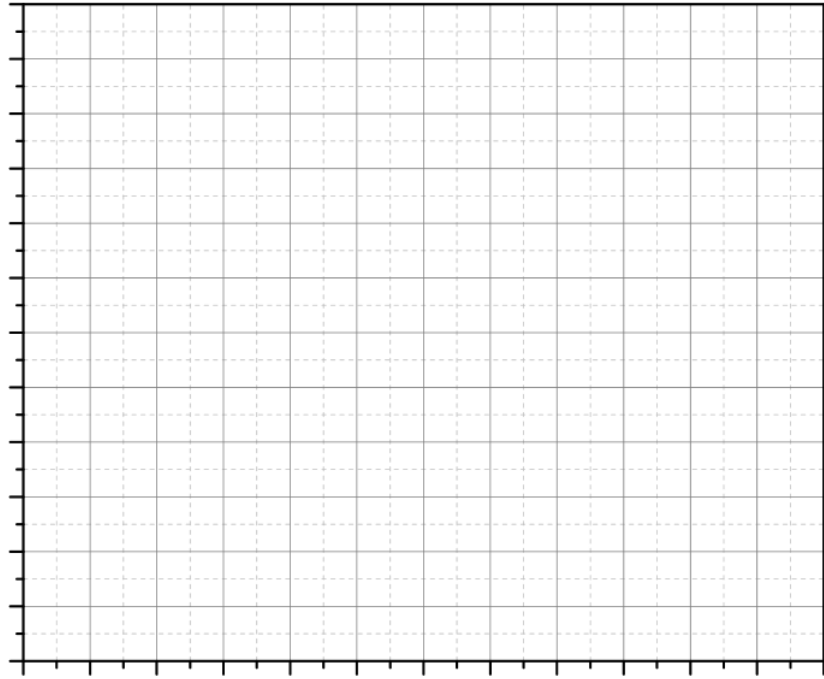


Fig. 4. Caracteristica externă

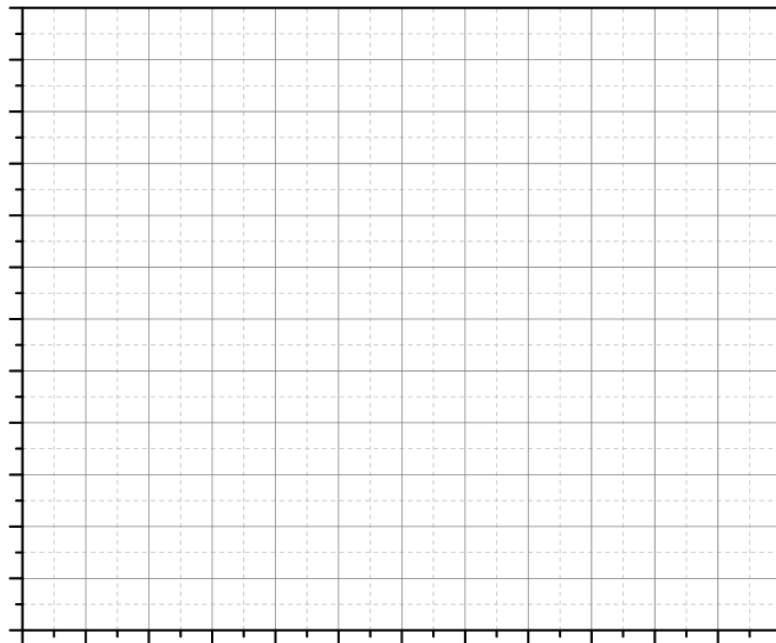
η



P_2 [A]

Fig. 5 – Randamentul transformatorului

I_2 [A]



P_2 [A]

Fig. 6 – Caracteristica curentului absorbit

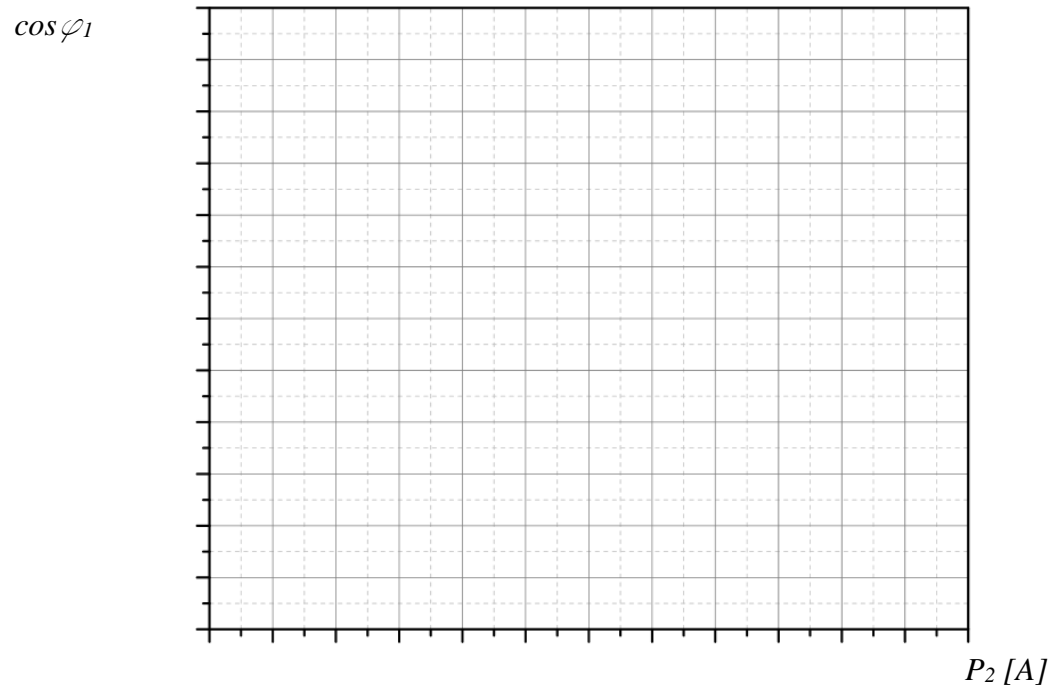


Fig. 7 – Factorul de putere

Laboratorul numărul 13

Autotransformatorul

Autotransformatorul este un transformator special la care înfășurarea secundară este o parte din înfășurarea primară. În acest fel transferul de putere între primar și secundar se realizează pe două căi: pe cale electromagnetică și pe cale galvanică/

Autotransformatoarele pot fi ridicătoare (Fig. 1.a)) și coborâtoare (Fig. 1.b)) de tensiune iar în funcție de numărul de faze: monofazate și trifazate în conexiune stea (Fig. 2).

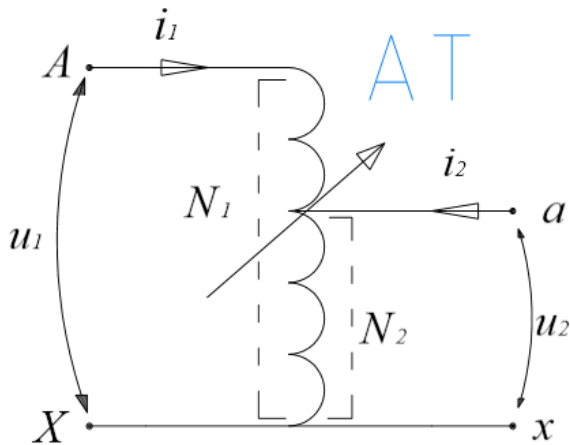


Fig. 1. a) Autotransformator coborâtor de tensiune

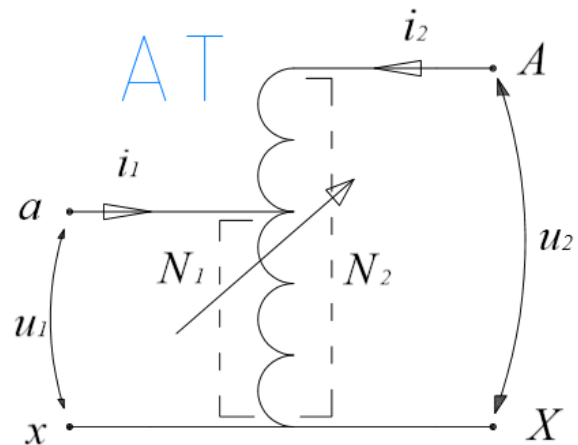


Fig. 1. b) Autotransformator ridicător de tensiune

Considerând u_1, i_1, N_1 și u_2, i_2, N_2 mărimile aferente circuitului de înaltă tensiune respectiv joasă tensiune. Putem defini raportul de transformare al unui autotransformator ca fiind:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- Curentul din porțiunea comună de circuit,

$$I_{12} = I_2 - I_1 = I_2 * \left(1 - \frac{1}{K}\right) = I_2 * (1 - K)$$

- Puterea transferată din circuitul primar ipoteza neglijării pierderilor, este:

$$S = U_1 * I_1 = U_2 * I_2$$

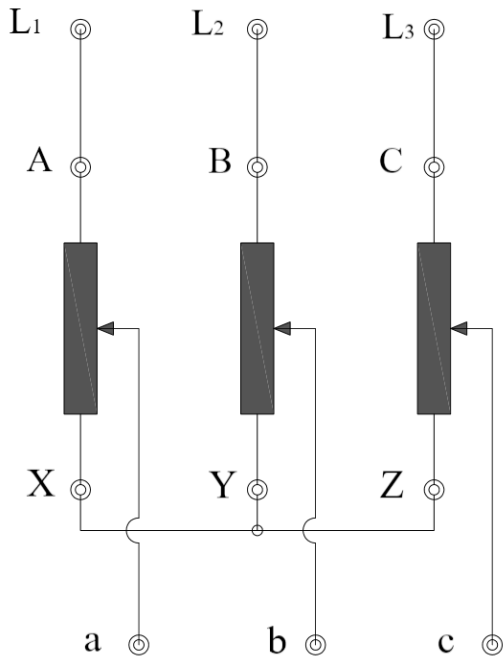


Fig. 2. Autotransformator trifazat
sau în rețelele în care nu se pune problema pătrunderii supratensiunilor.

O parte din această putere este transferată pe cale electromagnetică, $S_e = S \frac{K-1}{K}$ iar diferența pe cale galvanică prin intermediu, câmpului electric: $S_g = S - S_e = S \frac{1}{K}$.

De regulă, miezul feromagnetic al autotransformatorului se dimensionează pentru puterea electromagnetică S_e . Astfel, dimensiunile autotransformatorului sunt mai mici decât cele ale transformatorului pentru o aceeași putere transferată. De asemenea, este avantajoasă utilizarea autotransformatorului cu raport de transformare $K=1-2$, astfel încât puterea transferată pe cale galvanică să fie semnificativă.

Autotransformatorul prezintă dezavantajul de a nu realiza separarea circuitelor primare și secundare, limitându-se astfel domeniul de aplicare numai la interconectarea rețelelor cu tensiuni care nu diferă prea mult (având nivel de izolație apropiat)

Autotransformatoarele se construiesc atât pentru puteri mici, necesare pentru adaptarea receptoarelor la tensiunea rețelei (de exemplu de la 110 V la 220 V) cât și pentru puteri mari și foarte mari, uzual la interconectarea rețelelor de tensiuni diferite (de exemplu interconectarea rețelelor de 380 kV cu cele de 220 kV. De asemenea, autotransformatorul se utilizează la pornirea motoarelor sincrone și asincrone.

Procedeu experimental

Lucrarea practică își propune trasarea caracteristicilor unui autotransformatorului pentru a fi comparate cu caracteristicile unui transformator de aceeași putere.

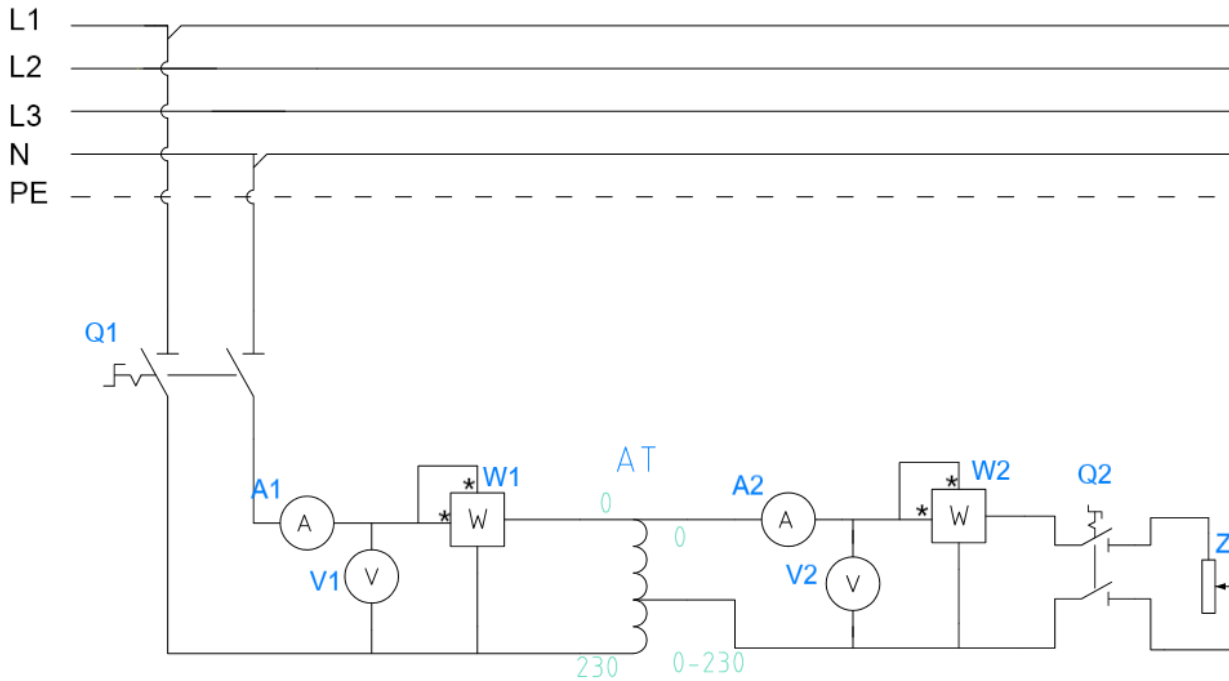


Fig. 3. Schema de încercări a autotransformatorului

Astfel se tablele următoare și se vor trasa caracteristicile $U_2=f(I_2)$, $\eta=f(I_2)$ $\Delta U=f(I_2)$ în cele două situații, autotransformator.

Încercarea autotransformatorului:

U_1 [V]	I_1 [A]	P_1 [W]	$\cos \varphi_1$	U_2 [V]	I_2 [A]	P_2 [W]	H

Încercarea transformatorului::

U_1 [V]	I_1 [A]	P_1 [W]	$\cos \varphi_1$	U_2 [V]	I_2 [A]	P_2 [W]	η

Se vor trasa caracteristicile:

- caracteristica externă: $U_2=f(I_2)$ - pune în evidență influența prezenței șuntului asupra pantei caracteristicii;
- caracteristica randamentului: $\eta=f(P_2)$
- caracteristica factorului de putere și a curentului absorbit: $\cos \varphi=f(P_2)$;
- caracteristica curentului absorbit $I_1=f(P_2)$.

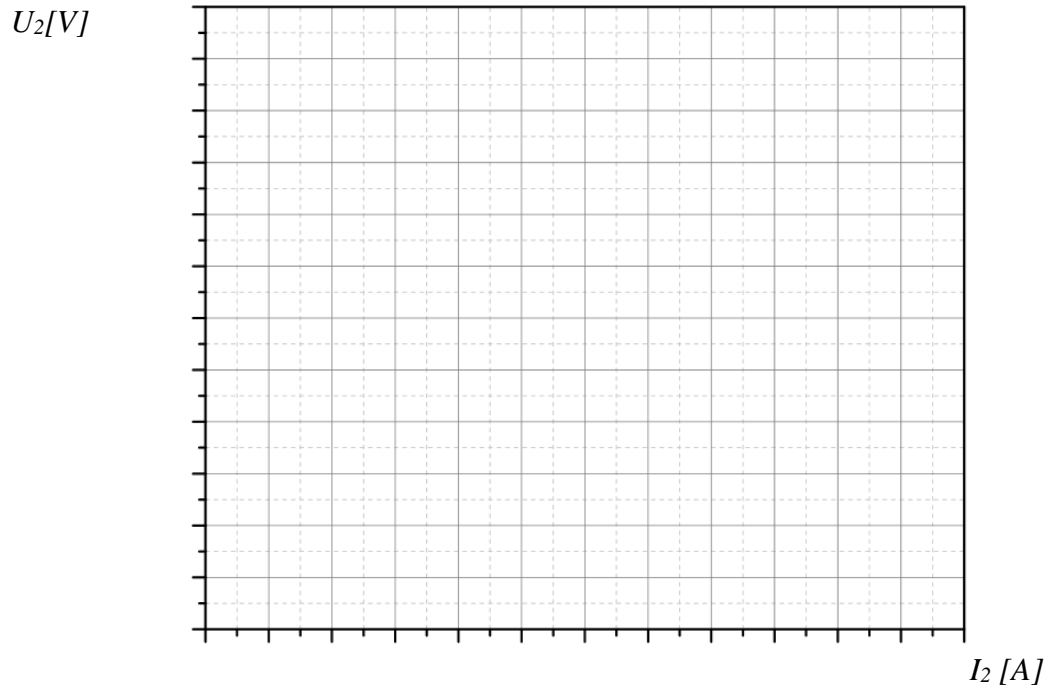
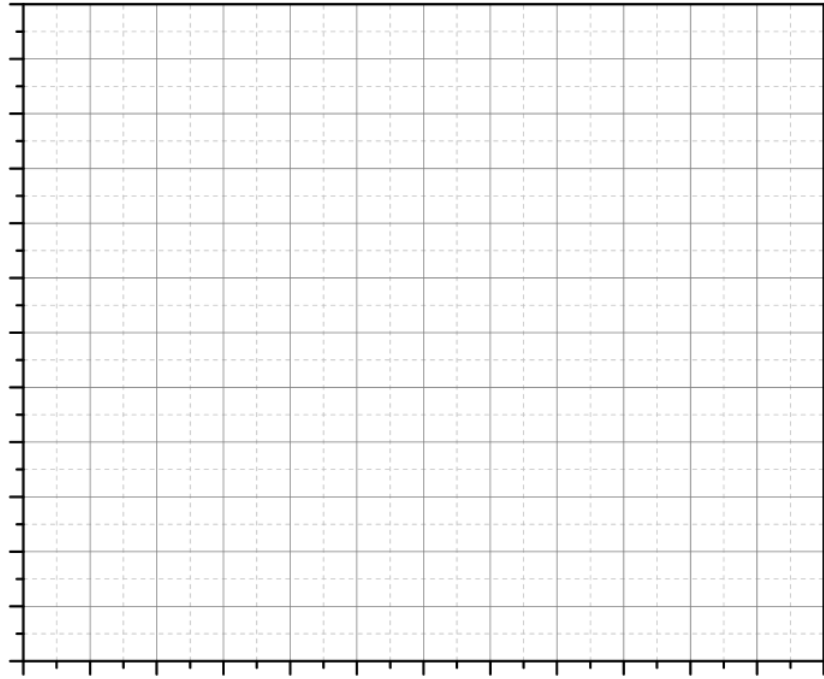


Fig. 4. Caracteristica externă

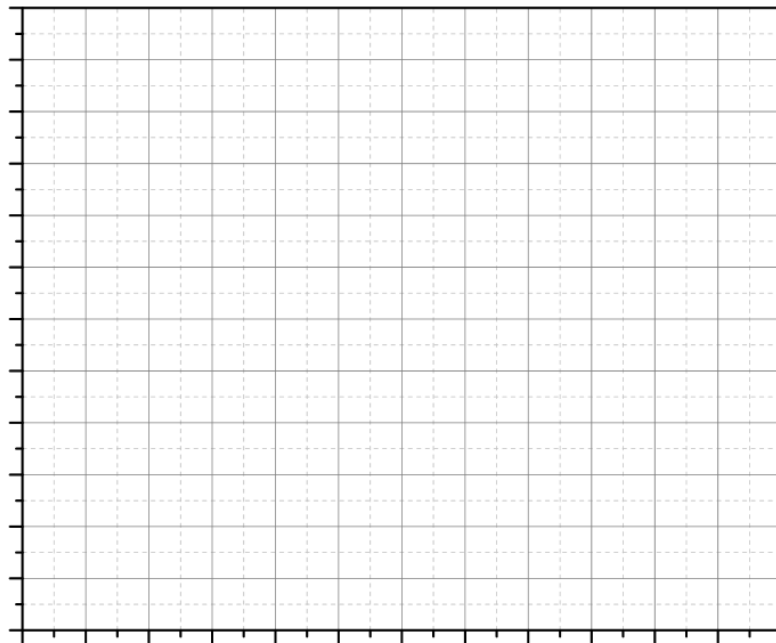
η



P_2 [A]

Fig. 5 – Randamentul transformatorului

I_2 [A]



P_2 [A]

Fig. 6 – Caracteristica curentului absorbit

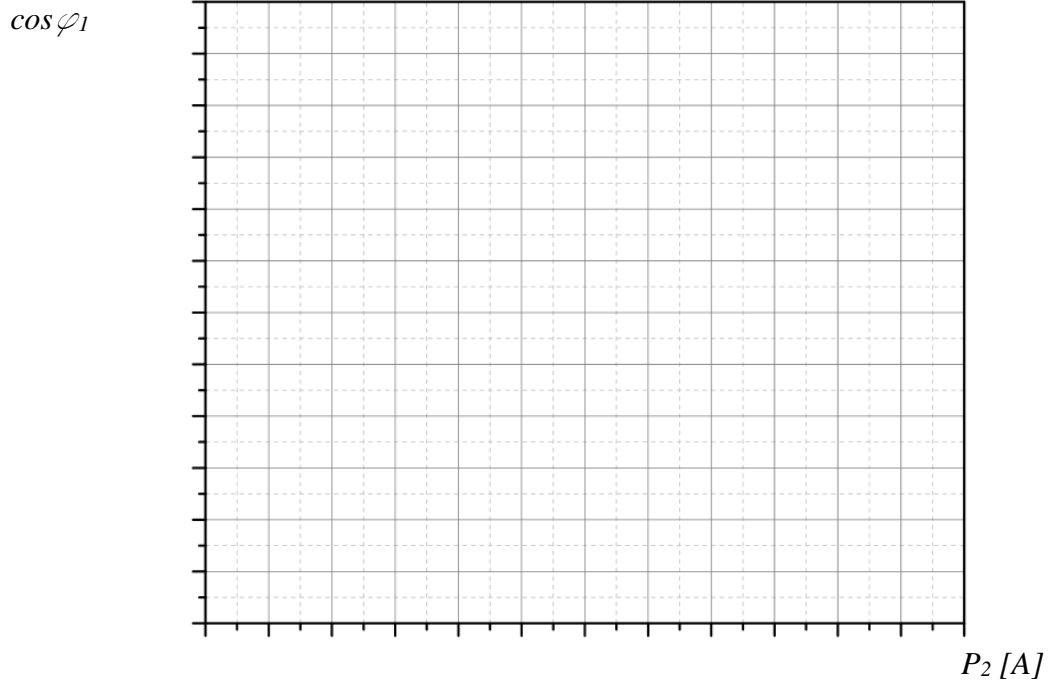


Fig. 7 – Factorul de putere

Se măsoară valorile nominale obținute în regim de scurtcircuit calculându-se parametrii de scurtcircuit și componentele tensiunii de scurtcircuit ale transformatorului:

- rezistența de scurtcircuit R_{sc} :

$$R_{sc} = \frac{P_{scN}}{I_{1N}^2}$$

- impedența de scurtcircuit Z_{sc} :

$$Z_{sc} = \frac{U_{sc}}{I_{1N}}$$

- reactanța de magnetizare X_{sc} :

$$X_{sc} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{sc}^2}$$

U_{1N} : - componenta activă a tensiunii de scurtcircuit în unități fizice respectiv procentual din

$$U_{sca} = R_{sc} \cdot I_{1N}$$

$$U_{sca} = \frac{R_{sc} \cdot I_{1N}}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

- componenta reactivă a tensiunii de scurtcircuit în unități fizice sau procente:

$$U_{scr} = X_{sc} \cdot I_{1N}$$

$$u_{scr} = \frac{X_{sc} \cdot I_{1N}}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

Cu valorile obținute pentru componentele tensiunii de scurtcircuit (U_{sc} , U_{sca} și U_{scr}) se construiește triunghiul de scurtcircuit care, pentru sarcina nominală $I_{1sc}=I_{1N}$ poartă denumirea de triunghiul fundamental de scurtcircuit (Fig. 8).

Tabelul 2

$U_{1N} [V]$	$I_{sc} [A]$	$P_{Isc} [W]$	$Z_{sc} [\Omega]$	$R_{sc} [\Omega]$	$X_{sc} [\Omega]$	$p_{Cu} [W]$	U_{sca}	U_{scr}

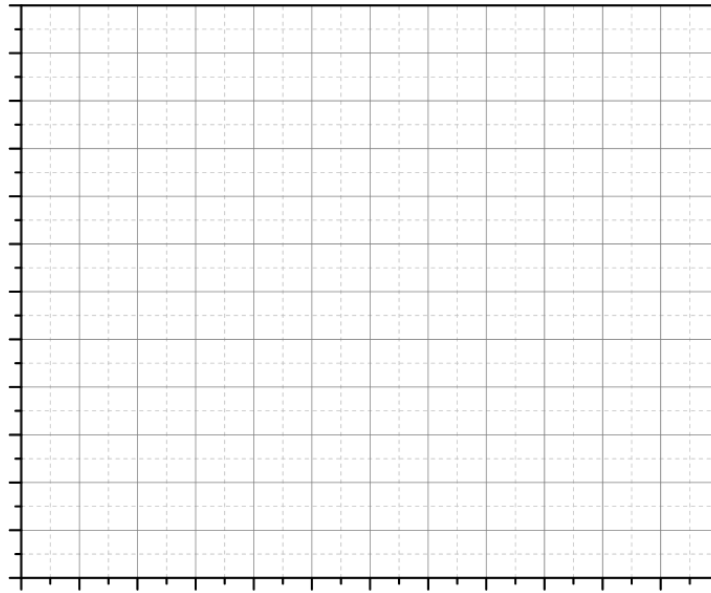


Fig. 8 – Triunghiul fundamental de scurtcircuit

Triunghiul de scurtcircuit fiind un triunghi dreptunghic la construirea lui sunt necesare două laturi: U_{sca} și U_{scr} . și va rezulta astfel φ_{sc} , unghiul dintre cele două tensiuni) e reprezintă defazajul transformatorului. Valoarea acestui defazaj este dată de relația:

$$\operatorname{tg} \varphi_{sc} = \frac{U_{scr}}{U_{sca}} = \frac{X_{sc}}{R_{sc}}$$

Acest defazaj variază cu puterea transformatorului. La transformatoarele mari se poate neglija componenta activă a tensiunii de scurtcircuit.