

Încercarea mașinilor electrice

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 pesonalul 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 eccidentului , se vor pune in scurtcircuit partile din intalatie 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 instalatiuei cu dispozitive de intrerupere ;
- nu se abandoneaza niciodata actiunea de a aducere 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 trebuyie 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.I. Persoanele încadrate în muncă precum și studenții au următoarele obligații principale privind prevenirea și stingerea incendiilor:

- să cunoască și să respecte normele generale de prevenire și stingere a incendiilor din unitatea în care își desfășoară activitatea și sarcinile de prevenire și stingere a incendiului;
- la terminarea programului, să verifice și să ia toate măsurile pentru înlăturarea cauzelor ce pot provoca incendii;
- să anunțe imediat organul ierarhic superior despre existența unor împrejurări de natură să provoace incendii, s-au despre producerea unor incendii și să acționeze, cu mijloacele existente, pentru stingerea acestora;

- să întrețină mijloacele de prevenire și stingere a incendiilor de pe locul de muncă în bună stare de utilizare.

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

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

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

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

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

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

Art.8. 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 (conduce, 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.
- întrebuițarea 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 carcusele 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 caracasei 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 nr. 2

Încercări comune ale mașinilor electrice

Măsurarea rezistențelor

Rezistențele electrice ale înfășurărilor reprezintă unul dintre parametrii de funcționare care impun buna funcționare a mașinii și care determină gradul de încălzire datorat pierderilor Joule manifestate prin trecerea curentului prin acestea.

La toate tipurile de mașini electrice rezistențele înfășurărilor se determină în stare rece, aceasta situație fiind socotită cea a mediului ambiant cu o aproximație de ± 1.5 °C. Este foarte important ca această încercare să se realizeze aplicând o atenție deosebită preciziei datorită faptului că o serie de alți parametrii (inductanțe, impedanțe, valoarea cuplului nominal, maxim și de pornire pentru mașinile asincrone, etc.) se vor determina cunoscând valoarea rezistenței înfășurărilor.

O primă și cea mai cunoscută metodă, de tip industrial, aplicată în măsurarea rezistențelor înfășurărilor electrice, este metoda ampermetrului și voltmetrului. Aceasta metodă indirectă de determinare a valorii rezistenței este suficient de precisă dacă în aplicarea ei se vor alege aparate de măsură, ampermetrul și voltmetrul, care prezintă o clasă precizie corespunzătoare. De asemenea, foarte importantă este și atenția deosebită care trebuie acordată în momentul citirii aparatelor în așa fel încât variațiile indicațiilor să fie cât se poate de reduse.

Metoda ampermetrului și voltmetrului aplicată pentru măsurarea rezistențelor înfășurărilor mașinilor electrice presupune respectarea și a următoarelor condiții optime pentru a obține rezultate satisfăcătoare:

- Voltmetrul se va conecta direct la bornele înfășurării a cărei rezistență trebuie măsurată (metoda ampermetrului și voltmetrului aval, pentru măsurarea rezistențelor de valoare redusă);
- Sursa de tensiune, de curent continuu, utilizată trebuie să fie o baterie de acumulare, foarte bine încărcată. Dacă se vor măsura rezistențe de valori foarte mici, determinările se vor face pentru curenți de valori mari ceea ce implică utilizarea unui generator de curent continuu drept sursă;
- Numărul de contacte demontabile din circuitul de măsurare trebuie să fie cât mai redus;
- Citirea indicațiilor aparatelor se va efectua concomitent de către două persoane la indicația celei care citește voltmetrul. Acest aspect trebuie întocmai urmat deoarece indicațiile voltmetrului vor prezenta variații mai mari decât indicațiile ampermetrului (posibile căderi de tensiune datorită încălzirii conductoarelor).
- Fiecare rezistență se va măsura pentru diferite valori ale curentului, cel puțin 5, de la valoare mare spre valori reduse ale acestuia.
- Se recomandă evitarea schimbării gamei de măsură ale aparatelor la măsurarea rezistenței aceleiași înfășurări.

- Pentru a evita încălzirea înfășurărilor se recomandă să nu se depășească valoarea de 20 % din valoarea curentului nominal.

Un exemplu de conexiuni necesare pentru măsurare a rezistenței înfășurărilor este prezentată în figura nr.1.

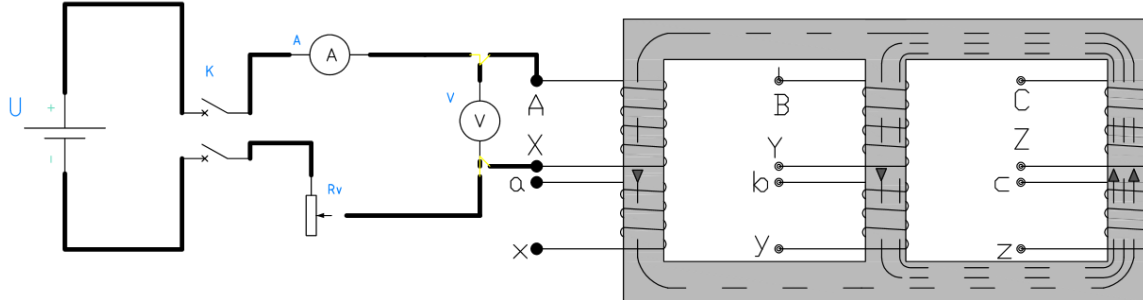


Fig. 1- Schema de măsurare a rezistenței înfășurărilor unui transformator prin metoda ampermetrului și voltmetrului

Pentru bobinele ce posedă inductanță mărită, la trecerea de la o valoare mare a curentului la o valoare inferioară voltmetrul poate fi deteriorat datorită tensiunii electromotoare inverse ce apar la reducerea bruscă a curentului. Astfel se recomanda ca la măsurarea rezistențelor bobinelor la care inductanța este mare circuitul voltmetrului să fie deschis la fiecare modificare a curentului.

Odată ce valoarea rezistenței unei înfășurări în stare rece este cunoscută pentru o anumită valoare a temperaturii la care se face măsurarea se poate deduce valoarea acesteia pentru o temperatură convențională. In această situație valoarea rezistenței înfășurării, R_{tN} la o temperatură convențională t_N derivă din valoare rezistenței R_m la valoarea t_m , aplicând relația.

$$R_{tN} = R_m \frac{t_N + 235}{t_m + 235}$$

Măsurarea puterii și a factorului de putere în curent alternativ.

Măsurarea puterii în curent alternativ se poate realiza aplicând două metode:

- Metoda directă utilizând wattmetrul de construcție electrodinamic sau ferodinamic și odată cu tehnologizarea, utilizând o serie de wattmetre electronice. Wattmetrul electrodinamic pentru curent alternativ monofazat are două bobine: bobina de curent, fixă, parcursă de curentul de măsurat și o bobină de tensiune, mobilă, parcursă de un curent proporțional și în fază cu tensiunea la bornele receptorului;
- Metoda indirectă prin măsurarea tensiunii și curentului alternativ și împreună cu un cosfimetru pentru măsurarea factorului de putere.

Măsurarea puterii și a factorului de putere în curent alternativ monofazat

În situația în care curenții și tensiunile prezintă valori reduse și sunt încadrate în gamele de măsură ale wattmetrului, bobinele acestuia se pot conecta direct în circuitul de alimentare al consumatorului, figura 2.a. De cele mai multe ori încercările didactice presupun utilizarea unor consumatori de puteri reduse și atunci putem conecta direct wattmetrul în circuitul de alimentare.

În condițiile în care mașinile electrice încercate sau consumatorii prezintă puteri mari la care curenții depășesc gamele de măsurare ale wattmetrului se utilizează transformatoare de măsură respectiv, transformatorul de curent T.C. și transformatorul de tensiune T.T. figura 2.b.

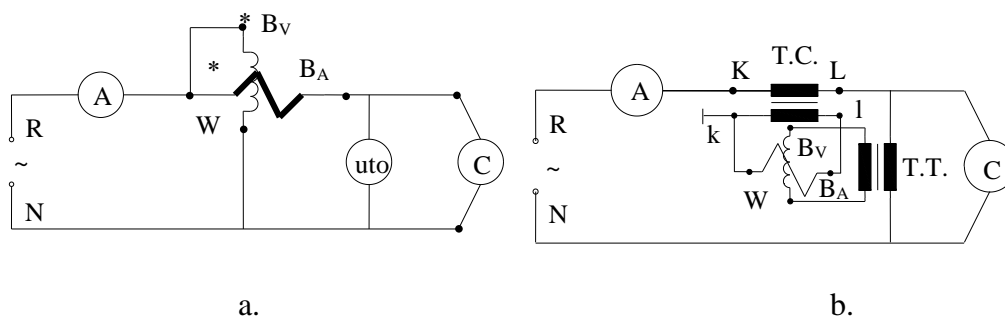


Fig. 2 - Măsurarea puterii în curent alternativ monofazat

Constanta wattmetrului conectat direct în circuit, K_w [W/div], este dată de raportul dintre produsul tensiunii nominale și curent nominal, corespunzător scării de măsură alese și numărul total de diviziuni de pe scala aparatului.

În cazul conectării wattmetrului prin intermediul transformatoarelor de măsură, constanta K'_w a wattmetrului va fi:

$$K'_w = K_w \cdot K_1 \cdot K_U$$

unde:

K_w - constanta wattmetrului determinată anterior;

K_1 și K_U - rapoartele de transformare ale celor două transformatoare de măsură.

Puterea măsurată va fi determinată cu relația:

$$P = K'_w \cdot \alpha = K_w \cdot K_1 \cdot K_U \cdot \alpha \quad [\text{W}]$$

unde:

α - numărul de diviziuni indicate de acul wattmetrului.

În condițiile în care se cunoaște puterea consumată de receptorul nostru (mașina electrică încercată) și se vizualizează tensiunea și curentul cu ajutorul voltmetrului și ampermetrului se poate determina prin metoda indirectă factorul de putere.

Factorul de putere în curent alternativ monofazat se va determina cu relația:

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$$

unde:

U - tensiunea la bornele receptorului;

I - curentul din circuitul de măsură.

Măsurarea puterii și a factorului de putere în curent alternativ trifazat

În cazul unui receptor trifazat încărcat simetric, cu nulul accesibil, se va utiliza un singur wattmetru pe una din faze, puterea fiind determinată prin multiplicarea cu trei a puterii consumate de faza pe care s-a montat wattmetrul, (figura 3.a.).

Factorul de putere va fi în acest caz dat de relația:

$$\cos \varphi = \frac{P}{3UI}$$

unde:

U și I reprezintă tensiunea respectiv curentul de fază.

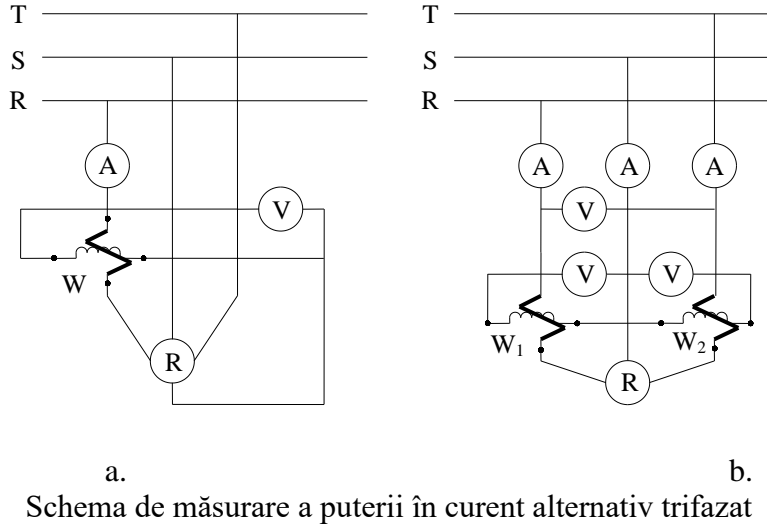
Pentru orice repartizare a puterii între faze (simetrică sau nesimetrică), măsurarea puterii în circuitele trifazate utilizează wattmetre trifazate având la bază, ca principiu de măsurare, metoda celor două wattmetre (figura 3.b.).

Bobinele de curent ale celor două wattmetre sunt parcurse de curenții a două din cele trei faze, iar bobinele de tensiune sunt conectate între fazele pe care s-au înseriat bobinele de curent și cea de a treia fază. Puterea totală a celor trei faze este dată de relația:

$$P = K_w (\alpha_1 + \alpha_2) \quad [\text{W}]$$

unde:

α_1 și α_2 sunt indicațiile celor două wattmetre.



Există, de asemenea, tabele care arată dependența indicațiilor wattmetrelor de factorul de putere corespunzător după relația:

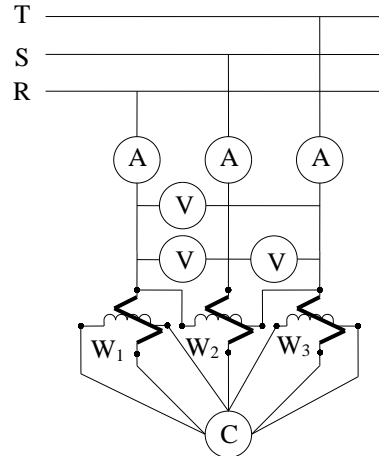
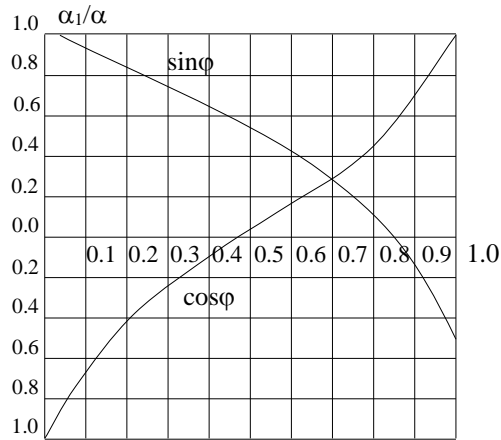
$$\cos \varphi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(1+x)^3}{1+x^3}}$$

unde x este raportul indicației mai mici în valoare absolută față de indicația mai mare. Factorul de putere astfel obținut poate fi verificat cu valoarea rezultată după măsurarea puterii:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3}UI}$$

Coincidența celor două valori poate indica justețea măsurării puterii. În cazul necesității calculului puterii reactive se poate determina $\sin \varphi$ din tabele, figura 4.a., în funcție de indicațiile celor două wattmetre. Neajunsul acestei metode constă în aceea că, nu dă o imagine directă cu privire la repartizarea uniformă a puterilor între faze. De aceea, pe fiecare fază trebuie măsurat curentul și trebuie creată posibilitatea măsurării tensiunilor de linie, simetria curenților și tensiunilor fiind garanția simetriei repartizării puterilor. La încercările mașinilor de mică putere, când sunt utilizate aparate de măsurat la curenți mici, perturbarea simetriei tensiunilor poate avea loc numai datorită lipsei unui wattmetru pe una din faze. În asemenea cazuri se recomandă utilizarea a trei wattmetre, câte unul pe fiecare fază (figura 4.b).

La măsurarea puterii absorbite de motoare trifazate cuplate cu mase rotitoare mari, acele aparatelor (A, V, W) sunt supuse unor oscilații puternice făcând dificilă citirea lor. În asemenea cazuri se vor utiliza contoarele de inducție în locul wattmetrelor. Determinând intervalul de timp în care discul face un anumit număr de rotații, se va calcula energia consumată. Împărțind această energie la intervalul de timp considerat se poate determina puterea.



a. Calculul puterii active și reactive cu doua wattmetre

b. Măsurarea factorului de putere cu 3 Wattmetre

Fig 4. Măsurarea puterii active în circuite trifazate

Aplicații practice

Măsurare rezistențelor înfășurărilor unei mașini electrice

Să se determine rezistența înfășurărilor unui motor asincron trifazat aplicând metoda ampermetrului și voltmetrului. Se va determina aceasta rezistență pentru cinci valori ale curentului fără ca acesta să depășească 20 % din valoarea sa nominală descrisă pe plăcuța indicatoare.

Aceste valori se vor prelua pentru mașina aflată în stare rece. Astfel se va completa tabelul 1 cu datele rezultate:

Tabelul 1. Mașina în stare rece

| Nr. crt | Tensiune [V] | Curent [A] | Rezistența [Ω] |
|-----------------------------|--------------|------------|-------------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Valoare medie a rezistenței | | | |

Se va antrena mașina prin pornire directă la rețea și se vor determina rezistențele înfășurărilor pentru mașina aflată în stare caldă. Astfel se va completa tabelul 2 cu valorile rezultate.

Tabelul 1. Mașina în stare caldă

| Nr. crt | Tensiune [V] | Curent [A] | Rezistenta [Ω] |
|-----------------------------|--------------|------------|-------------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Valoare medie a rezistentei | | | |

Măsurarea puterii în curent alternativ trifazat

Se vor realiza două montaje pentru măsurare a puterii, unul în care puterea va fi măsurată utilizând un singur wattmetru și unul în care puterea va fi măsurată un wattmetru trifazat electronic. Se vor utiliza montajele descrise mai sus în care gamele de măsură ale wattmetrului permit măsurarea directă fără utilizarea transformatoarelor de măsură.

Aceste date măsurate se vor înscrie în tabelul numărul 3. De asemenea, se va evalua și factorul de putere rezultat ca urmare a încărcării mașinii în diverse stadii.

| Nr. crt | <i>Masurare cu un singur wattmetru</i> | | | | <i>Masurare cu doua wattmetre</i> | | | |
|---------|--|-------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|
| | <i>Tensiune [V]</i> | <i>Curent [A]</i> | <i>Putere [W]</i> | <i>Cos φ</i> | <i>Tensiune [V]</i> | <i>Curent [A]</i> | <i>Putere [W]</i> | <i>Cos φ</i> |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Laboratorul nr. 3

Încercări comune ale mașinilor electrice

Metodele de măsurarea cuplului electromagnetic

Încercarea mașinilor electrice rotative în regim de motor presupune și determinarea cuplului. Aceasta se poate realiza în următoarele cazuri:

- la mașina cu rotorul în repaos se poate măsura cuplul inițial de pornire;
- la mașina ce se rotește cu o turație constantă se poate măsura cuplul în sarcină și la suprasarcină, în limitele de funcționare stabilă a acesteia;
- la mașina ce se rotește cu o turație variabilă se poate măsura cuplul în orice regim, de la pornire până la turația nominală.

Pentru stabilirea metodelor de determinare pe cale experimentală, a cuplului de rotație, se apelează la ecuația cuplurilor dezvoltate de mașinile electrice rotative, pusă sub forma:

$$M = M_{st} + M_j$$

unde:

M - reprezintă cuplul electromagnetic dezvoltat de mașină;

M_{st} - reprezintă cuplul static rezistent la arbore;

M_j - reprezintă cuplul dinamic sau de accelerație.

În baza relației descrise anterior se stabilesc metodele de determinare a cuplului de rotație și anume:

- **metode ce folosesc regimul staționar** în cadrul cărora se determină cuplul rezistent la arbore M_{st} , considerând $M_j=0$;
- **metode ce folosesc regimul dinamic** bazate pe măsurarea cuplului de accelerație M_j , considerând $M_{st}=0$.

Conform definiției acestor metode, pentru fiecare valoare a cuplului de rotație determinat, regimul electromagnetic este stabilizat. În acest caz, stabilind valorile tensiunii și frecvenței la care se determină cuplul de rotație și metoda de măsurare, se asigură condiția de reproductibilitate a metodei.

Astfel, pe orice stand de probă, la aceleași valori ale tensiunii, frecvenței și supratemperaturii coliviei și cu aceeași metodă de determinare a cuplului se obțin, la aceeași mașină, valori practic egale pentru cuplul de rotație.

Aplicarea metodei în regim staționar pentru determinarea cuplului dezvoltat de motoarele electrice în perioada pornirii impune să se stabilească:

- modul de realizare a cuplului rezistent astfel încât în orice punct de pe caracteristica $M=f(n)$, regimul să fie staționar;
- metoda de determinare a cuplului.

1. Metode de realizare a cuplului de încărcare

Pentru încărcarea mașinilor electrice rotative, funcționând în regim de motor, respectiv pentru realizarea cuplului rezistent la arbore, se folosesc frâne sau generatoare de curent continuu.

a. Metode de încărcare cu generatorul de curent continuu

Pentru încărcarea mașinilor de încercat, funcționând în regim de motor, se preferă generatorul de curent continuu, deoarece acesta, conectat într-o schemă adecvată, oferă o mare stabilitate sistemului, pentru orice punct de pe caracteristica mecanică a motorului de antrenare.

În cadrul încercării, generatorul de curent continuu va trebui să funcționeze într-o gamă largă de turații, motiv pentru care puterea acestuia trebuie să fie cel puțin egală cu a mașinii de încercat. Există două metode distincte de încărcare a generatorului de curent continuu, fapt ce va determina o amplasare diferită a caracteristicii $M_g=f(n)$ în sistemul de coordonate M,n , conducând la o comportare diferită a ansamblului motor-generator.

- Generatorul de curent continuu încărcat pe o rezistență

În acest caz, cuplul electromagnetic dezvoltat de generator (M_g) este aproximativ egal cu cuplul rezistent la arbore, fiind dat de relația:

$$M_g = K_M \cdot \Phi \cdot I$$

unde:

Φ - reprezintă fluxul magnetic din întrefier, fiind proporțional cu valoarea curentului de excitație;

I - reprezintă valoarea curentului din indus.

Considerând funcționarea la curent de excitație constant și rezistență de sarcină constantă, curentul din rotor va fi proporțional cu tensiunea electromotoare, $I = K \cdot E$ ($E = K_E \cdot \Phi \cdot n$), respectiv cu fluxul Φ și turația n . Astfel, expresia M_g devine:

$$M_g = K' \cdot \Phi^2 \cdot n$$

unde:

$$K' = K K_M K_E$$

Relația obținută pentru M_g reprezintă ecuația unei drepte ce trece prin originea axelor de coordonate, având panta $K' \cdot \Phi^2$.

Modificarea cuplului de frânare M_g se va realiza prin modificarea valorii fluxului la sarcină constantă, sau prin modificarea atât a fluxului cât și a rezistenței de sarcină. Punctul de funcționare a grupului, motor de încercat - generator frână, va fi determinat de intersecția caracteristicilor $M_g = f(n)$ și $M = f(n)$, figura 1.

Metoda prezintă dezavantajul că pe porțiunea 2-3 a caracteristicii $M = f(n)$ regimul este instabil. De asemenea, la mașinile de puteri medii și mari, energia disipată pe rezistența de sarcină are valori importante, metoda fiind neeconomică.

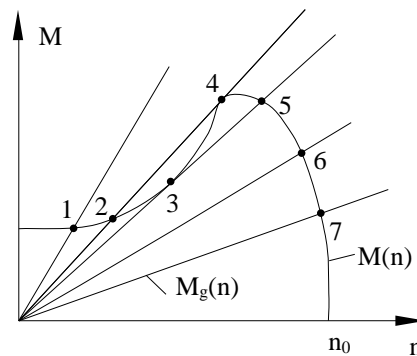


Fig. 1 – Caracteristica mecanică pentru determinarea cuplului utilizând un generator de curent continuu autonom

- **Generatorul de curent continuu, încărcat în sistem recuperativ pe o rețea de curent continuu cu tensiunea variabilă**

Curentul debitat de generator în acest caz va fi dat de relația:

$$I = \frac{E - U_r}{\sum R}$$

unde:

E - reprezintă tensiunea electromotoare a generatorului;

U_r - tensiunea la bornele generatorului, respectiv tensiunea rețelei;

ΣR - rezistența totală din circuitul indusului.

Considerând fluxul constant, tensiunilor E și U_r li se pot asocia valori determinate ale turației, respectiv:

$$E = K \cdot n_e \cdot \Phi$$

$$U_r = K \cdot n \cdot \Phi$$

Astfel, expresia cuplului dezvoltat de generator devine:

$$M_g = K' (n_e \cdot n) \Phi^2$$

unde:

$$K' = \frac{K_M \cdot K}{\Sigma R}$$

Această relație reprezintă ecuația unei drepte de pantă $K' \cdot \Phi^2$ ce intersectează axa absciselor în punctul $n_e = n$. Punctul de funcționare al grupului motor de încercat - generator frână este situat la intersecția caracteristicii $M_g = f(n)$ și $M = f(n)$, figura 2.

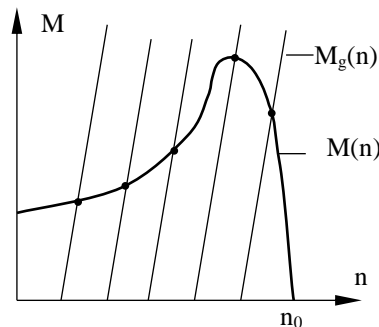


Fig. 2 – Caracteristica mecanică pentru determinarea cuplului utilizând un generator de curent continuu conectat la rețea

Modificarea valorii curentului, în acest caz, se poate face reglând pe rând sau simultan mărimile Φ și U_r . Deoarece întregul domeniu de funcționare a grupului este stabil, se pot determina valorile cuplului motor pentru orice turație.

Sub aspectul rezultatelor, această metodă constituie soluția optimă de realizare a cuplului de încărcare, deoarece prezintă operativitate și comoditate în realizarea caracteristicii $M_g = f(n)$. De

asemenea, deplasarea și înclinarea caracteristicii $M_g=f(n)$ făcându-se simplu și comod, permite funcționarea stabilă a grupului chiar și în domeniul cuplurilor parazite ale motorului de încercat.

2. Metode de măsurare a cuplului la arborele mașinilor electrice rotative

Măsurarea cuplului rezistent la arborele mașinilor se poate realiza de regulă prin două metode ce prevăd:

- măsurarea forței electromagnetice și a brațului forței;
- măsurarea cuplului de torsiune la axul mașinii.

Măsurarea forței electromagnetice și a brațului forței

Metoda de încărcare cu ajutorul unei frâne (mecanică, hidraulică sau electromagnetică) constă în dispunerea acesteia pe axul motorului și cuplarea cu o pârghie, al cărui braț de lungime cunoscută încărcat cu greutate, se reazemă de talerul unei balanțe sau se agață pe un dinamometru. În toate aceste cazuri, cuplul de frânare M , creat de frână, se determină ca fiind produsul dintre brațul frânei l și forța aplicată G :

$$M = G \cdot l \text{ [kgfm]}$$

Valoarea corectă a cuplului se obține numai în cazurile în care frâna este perfect echilibrată. Folosirea frânei este foarte comodă, deoarece permite în general și determinarea puterii P dezvoltată la arborele motorului, dacă se cunoaște viteza de rotație n , cu relația:

$$P = \Omega \cdot M \cdot g \text{ [W]}$$

unde:

$\Omega = (2\pi n)/60$ [rad/sec] dacă n este în [rot/min];

$g = 9,81$ [m/s²], accelerația gravitațională respectiv:

$$P = M \cdot g \cdot \frac{2\pi n}{60} \text{ [W]}$$

Frâna electromagnetică

Frâna electromagnetică, figura 3, se compune dintr-un disc D , de regulă din aluminiu, solidar cu axul ce se rotește în întrefierul electromagnetului T , a cărui bobină B este alimentată în curent continuu. La alimentarea bobinei B , câmpul creat, închizându-se prin disc, în acesta se vor

induce curenți turbionari. Interacțiunea dintre curenții turbionari și câmpul creat de curentul din bobina în întrefierul electromagnetului va determina frânarea motorului.

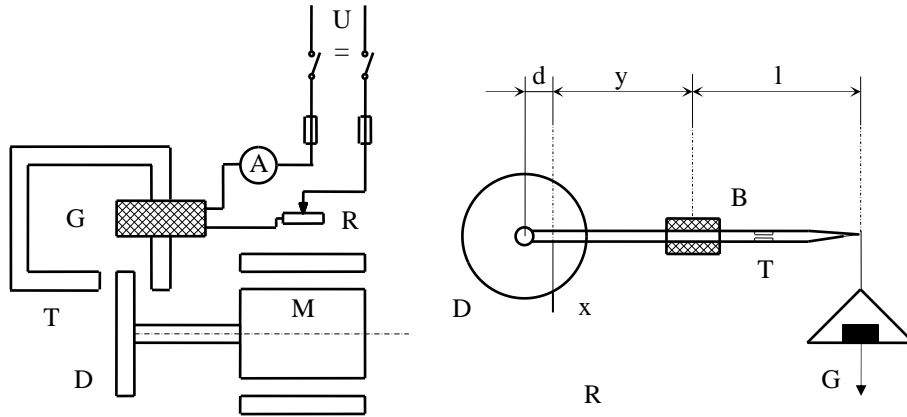


Fig. 3 – Frâna electromagnetică și măsurarea cuplului

Asupra electromagnetului, care este susținut de două cuțite K, acționează cuplul creat de curenții turbionari, xy . Acest cuplu este echilibrat cu ajutorul greutăților plasate în platan, G_l , respectiv, $G_l = xy$. Cuplul dezvoltat de motor va fi dat de relația $M = xd$, sau:

$$M = \frac{G \cdot l}{y} \cdot d \quad [\text{kgfm}]$$

unde:

G - greutatea din platan în [kgf]

l - lungimea brațului frânei în [m].

Puterea cedată de motor va fi în acest caz:

$$P_2 = \Omega \cdot M = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot \frac{G \cdot l}{y} \cdot d \quad [\text{kgfm/s}]$$

$$P_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot \frac{G \cdot l}{y} \cdot d \cdot g \quad [\text{W}]$$

unde: g - accelerația gravitațională ($g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$).

Considerând: $\frac{2\pi}{60} \cdot g = 1,03$ rezultă:

$$P_2 = 1,03 \cdot n \cdot \frac{G \cdot l}{y} \cdot d \quad [\text{W}]$$

Frâna electromagnetică se poate perfecționa prin înlocuirea electromagnetului B cu un număr de poli așezați pe ambele fețe ale discului, poli dispuși pe un suport ce poate oscila în jurul axei discului. Cuplul ce va acționa asupra suportului va avea punctul de aplicație pe ax, iar pentru determinarea lui se va utiliza relația $M = Gl$ [kgfm], respectiv pentru puterea utilă relația:

$$P_2 = \Omega \cdot M = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot G \cdot l \text{ [kgfm/s]}$$

2. Dinamul frână

Este o mașină de curent continuu cu statorul montat pe lagăre cu bile având posibilitatea de a se roti liber.

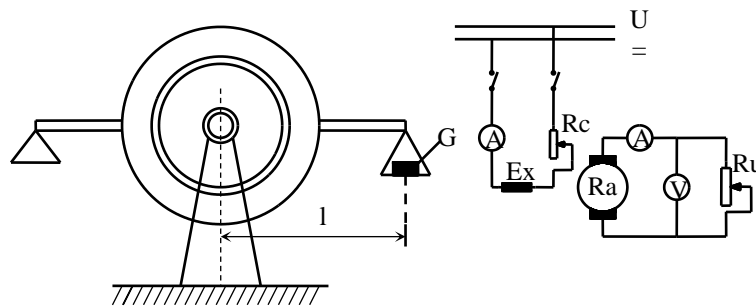


Fig. 4 . Măsurarea cuplului electromagnetic utilizând dinamul frână

De stator simt prinse două brațe având la capete platane pentru plasarea greutăților de echilibrare, figura 4. Funcțional, dinamul frâna reprezintă o mașina de curent continuu cu excitație separată, figura 4. Pentru încărcarea motorului acesta se va cupla mecanic cu dinamul frâna. Neexcitat, dinamul frână se află la echilibru.

Cuplul ce apare la arborele dinamului dezechilibrează statorul care tinde să aibă același sens de rotație ca și rotorul. Dinamul excitat va debita pe reostatul de utilizare R_u , iar pentru echilibrarea statorului se vor plasa greutateți pe platanul corespunzător.

Cuplul mecanic creat de greutatețile dispuse pe platan ($G \cdot l$) va echilibra cuplul ce ia naștere în dinamul frâna M (cuplul rezistent util în cazul încercării unui motor):

$$M = Gl, \text{ în [kgfm]} \text{ și } M = 9,81Gl, \text{ în [Nm]}$$

Dacă se cunoaște viteza de rotație n , se poate calcula puterea utilă:

$$P_2 = \Omega \cdot M = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot G \cdot l \cdot 9,81 \text{ [W]}$$

Aplicație practică

Se are în vedere studierea a două metode de determinare a cuplului electromagnetic dezvoltat de motor.

În laboratorul de mașini electrice este prezent un stand experimental de determinare a cuplului electromagnetic utilizând frâna electromagnetică.

Standul experimental utilizat cuprinde următoarele:

1. Motor asincron trifazat alimentat prin convertizor;
2. Generator de curent continuu cu excitație derivație;
3. Frână electromagnetică alimentată în curent continuu;
4. Balanță pentru măsurarea greutății.

Tabelul 1.

| Nr. crt | n [rot/min] | Ω [rad/sec] | Masa [kg] | g | M[Nm] | P_2 [W] |
|---------|---------------|--------------------|-----------|---|-------|-----------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

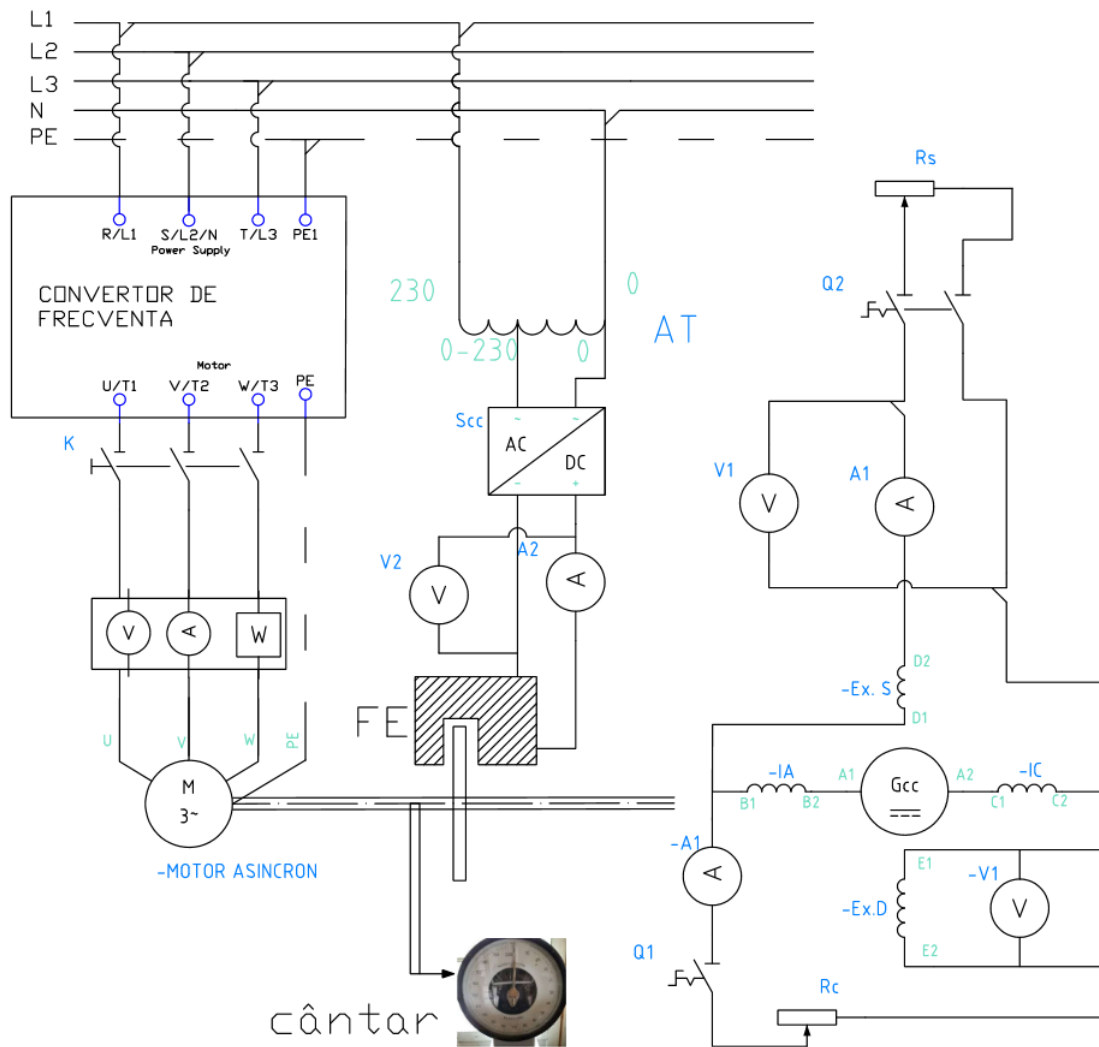


Fig. 5 – Schema de încercări – măsurarea cuplului

Laboratorul nr. 4

Încercări comune ale mașinilor electrice

Măsurarea vitezei de rotație

Încercările mașinilor electrice rotative necesită în majoritatea cazurilor determinarea vitezei de rotație. Metodele de determinare a vitezei trebuie să asigure o precizie a măsurării care să nu fie inferioară preciziei cu care se face măsurarea mărimilor electrice.

1. **Metoda contorului de turație**, se aplică în cazurile în care turația ce se măsoară este perfect stabilă. Determinând intervalul de timp T , în care arborele mașinii face N rotații, viteza va fi dată de relația:

$$n = 60 \cdot \frac{N}{T} \quad [\text{rot/min}]$$

dacă, T este măsurat în secunde.

2. **Metoda tahometrului**, este cea mai cunoscută metodă, prezentând avantajul rapidității de măsurare cât și al utilizării atât la turație constantă cât și la turație variabilă. Precizia mică a tahometrelor și dificultatea gradării lor constituie principalul neajuns al metodei. De asemenea, utilizarea tahometrelor este inefficientă la încercările mașinilor foarte mici pentru care pierderile prin frecare în interiorul mecanismului reprezintă o valoare apreciabilă. Cu toate acestea, utilizarea tahometrului este cea mai folosită metoda de măsurare a vitezei de rotație.

3. **Metoda stroboscopului** cu folosirea tahometrului, este o variantă a metodei anterioare, utilizată în încercările mașinilor foarte mici sau în cazurile când arborele mașinii de încercat este inaccesibil. Metoda constă în utilizarea unui micromotor universal cu colector având capetele arborelui libere, la unul din capete montându-se tahometrul, iar la celălalt fixându-se un disc negru cu o fantă îngustă. Se reglează turația acestui motor până când partea în mișcare a mașinii de încercat, privind prin fanta discului, apare nemișcată. Viteza indicată de tahometru va fi viteza mașinii de încercat.

4. **Metoda stroboscopică**, constă în iluminarea arborelui mașinii de încercat cu o lampă cu un tub luminiscent, alimentat de la un generator electronic de frecvență reglabilă, al cărui dispozitiv

de reglaj este gradat direct în rotații pe minut. Citirea pe scara dispozitivului de reglaj al stroboscopului se face în momentul când arborele mașinii ce se încearcă apare nemișcat în lumina tubului luminescent.

5. **Metoda frecvențmetrului**, necesită cuplarea cu mașina de încercat a unui microgenerator de curent alternativ, tensiunea generatorului fiind aplicată unui frecvențmetru. Considerând f - frecvența măsurată și p - numărul de perechi de poli ai generatorului, viteza mașinii de încercat este dată de relația:

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

Măsurarea temperaturii înfășurărilor

În cadrul încercării mașinilor electrice la încălzire cea mai importantă din măsurările ce se efectuează este măsurarea temperaturii înfășurărilor izolate de corpul mașinii, deoarece temperatura acestora în timpul funcționării determină durata de viață a izolației. Pe lângă aceasta, trebuie măsurată temperatura miezurilor de fier, a agentului de răcire (aer, gaz, ulei), a uleiului de gresare a lagărelor și altor părți în frecare, a colectoarelor, inelelor de contact, etc, a apei sau a altui lichid, în cazul folosirii răcirii directe sau indirecte cu lichid, a pieselor neactive ce se pot "încălzi" datorită curenților turbionari. Astfel, determinarea supratemperaturii diferitelor părți ale mașinilor electrice impune stabilirea metodelor de măsurare a temperaturii. De asemenea, este necesară precizarea condițiilor de măsurare a temperaturilor și cele referitoare la realizarea încercării de încălzire, care să asigure atât precizia necesară cât și reproductibilitatea rezultatelor.

Dintre metodele existente pentru măsurarea temperaturii, standardele în vigoare prevăd pentru măsurările de baza următoarele metode:

1. metoda variației rezistenței cu temperatura;
2. metoda traductoarelor interne de temperatură;
3. metoda termometrului;
4. metoda traductoarelor de temperatură montate;
5. metoda superpoziției.

Aceste metode nu se vor utiliza pentru controlul uneia față de cealaltă.

Metoda variației rezistenței cu temperatura

Alegerea metodei de determinare a temperaturii înfășurărilor se face în funcție de puterea mașinii și caracteristicile de realizare a înfășurării. În general, pentru măsurarea temperaturii înfășurărilor, se aplică metoda variației rezistenței cu temperatura. De asemenea, pentru mașinile cu puterea nominală sub 600 W (VA), supratemperatura poate fi măsurată cu ajutorul termometrelor sau termocuplurilor externe. Supratemperatura înfășurării, constituind diferența dintre temperatura acesteia și temperatura mediului ambiant ($\Delta\theta = \theta_2 - \theta_a$), este dată de relația:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + \theta_1) + \theta_1 - \theta_a \quad [^{\circ}\text{C}]$$

unde:

θ_2 - temperatura înfășurării la sfârșitul încercării (temperatura în stare caldă) [$^{\circ}\text{C}$];

θ_1 - temperatura înfășurării în momentul măsurării inițiale a rezistenței (temperatura în stare rece), [$^{\circ}\text{C}$];

1 - temperatura mediului ambiant [$^{\circ}\text{C}$];

R_2 - rezistența înfășurării la sfârșitul încercării (rezistența înfășurării în stare caldă), [Ω];

R_1 - rezistența înfășurării la temperatura inițială de începere a încercării (rezistența înfășurării în stare rece) [Ω].

Pentru alte materiale decât cuprul, se înlocuiește valoarea 235 din relația anterioară cu inversul coeficientului de temperatură al rezistenței la 0°C pentru materialul considerat. Dacă nu se specifică altfel, pentru aluminiu se va lua 225.

Această relație devine deosebit de comodă în cazul în care, drept rezistență a înfășurării în stare rece, se adoptă valoarea sa la 15°C . Se obține, astfel, pentru determinarea supratemperaturii relația:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_a = 250 \frac{R_2 - R_{15}}{R_{15}} + 15 - \theta_a \quad [^{\circ}\text{C}]$$

În cazul utilizării acestei metode, se recomandă folosirea unor și acelorași aparate pentru măsurarea rezistențelor în stare rece și în stare caldă. Măsurarea temperaturilor după oprire prin metoda variației rezistenței impune ca mașina să se oprească rapid la sfârșitul încercării la încălzire. În acest sens sunt necesare o organizare judicioasă a încercării și un număr corespunzător de persoane, în scopul obținerii citirilor în timp suficient de scurt pentru a furniza informații sigure.

Metoda traductoarelor interne de temperatură.

În cadrul acestei metode, traductoarele de temperatură (termocupluri, termorezistențe sau diode semiconductoare) se introduc în mașină, în timpul fabricării acesteia, în puncte ce devin

inaccesibile după fabricarea mașinii. De regulă, aceste traductoare se utilizează pentru determinarea supratemperaturii înfășurărilor sau a fierului. Traductoarele se montează în creștături, între bobine sau spire, sau în alte puncte ale înfășurărilor sau fierului mașinii, în funcție de scopul urmărit. În scopul identificării celui mai cald punct al subansamblului considerat se vor folosi un număr corespunzător de traductoare dar nu mai mic de șase. Dacă înfășurarea are două sau mai multe mănunchiuri în creștătură, traductoarele de temperatură trebuie să fie plasate între mănunchiurile izolate în interiorul creștăturii, în punctele presupuse mai calde. Pentru înfășurările cu un mănunchi în creștătură, traductoarele se vor plasa între pana de închidere a creștăturii și partea externă a izolației înfășurării, în locurile presupuse cele mai calde. La capete de bobină traductoarele vor fi montate între două laturi de bobine adiacente, în interiorul etajului exterior al capetelor de bobină, în punctele presupuse cele mai calde

Pentru asigurarea preciziei măsurării, este necesar ca partea sensibilă a traductoarelor să vină în contact direct cu suprafața a cărei temperatură trebuie determinată și protejate împotriva influenței fluidului de răcire.

Metoda termometrului

Această metodă se aplică când nu se poate aplica metoda variației rezistenței și nici cea a traductoarelor interne. De asemenea această metodă se mai poate aplica și în următoarele cazuri:

- când nu se poate măsura supratemperatura prin variația rezistenței (bobinele de comutație, înfășurări de compensație, cazul înfășurărilor cu rezistență mică, mai ales când rezistența de contact și a conexiunilor reprezintă o proporție importantă din rezistența totală);

- înfășurări într-un singur strat, în rotație sau fixe;

- pentru măsurarea supratemperaturii în timpul încercărilor individuale pe mașini produse în serie mare.

Prin termometre se înțeleg atât termometrele de dilatare (cu mercur, alcool, etc.) cât și orice alte aparate pentru măsurarea temperaturii, dacă acestea se aplică pe suprafețele accesibile ale părților componente ale mașinii asamblate. Astfel, termometrele vor indica numai temperatura acelei părți componente cu care vine în contact și numai în acel punct în care acestea se aplică.

Această metodă utilizează termometre ce se aplică direct pe suprafețele accesibile ale mașinii în stare de funcționare sau în stare de repaos, având grijă ca zona de contact să fie protejată împotriva agenților externi, iar rezervorul termometrelor să fie acoperit cu material termoizolant.

Cu această metodă se pot determina, de regulă, supratemperaturile rulmenților, a inelelor de contact a lagărelor, a carcasei, a fluidului de răcire, a mediului ambiant, etc.

Metoda traductoarelor de temperatură montate

Această metodă utilizează de regulă drept indicatoare de temperatură termocupluri sau termorezistențe, acestea introducându-se în mașina asamblată, numai pentru perioada efectuării încercării la încălzire. Acestea se pot folosi pentru măsurarea temperaturii oricăror părți fixe ale mașinii, active sau neactive, iar după efectuarea încercării se îndepărtează.

Metoda superpoziției.

Metoda constă în determinarea supratemperaturilor înfășurărilor mașinii de curent alternativ prin măsurarea rezistenței, efectuate fără întreruperea curentului alternativ de sarcină, suprapunând curentului de sarcină un curent continuu de măsurare de intensitate redusă.

Aplicație practică

1. Măsurarea turației

Se are în vedere studierea a două metode de măsurare a turației metoda tahometrului și metoda contorului de turație. Se vor analiza comparativ cele două metode.

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Măsurarea turației cu tahometrul | | | | | | | | | |
| Măsurarea turației cu contorul de turație | | | | | | | | | |

2. Măsurarea temperaturii prin intermediul măsurării rezistenței electrice

Se alimentează conform schemei de mai jos un motor asincron cu rotor bobinat. În prealabil se va determina rezistența înfășurărilor prin metoda ampermetrului și voltmetrului (în stare rece). După o încărcare în cuplu rezistent la arbore pe o perioadă de timp suficient de mare se va determina rezistența înfășurărilor în stare caldă. Astfel aplicând metoda de calcul descrisă mai sus se va evalua temperatura de lucru a mașinii.

| Nr. crt, | Valoare rezistenta înfășurare în stare rece | | | Valoare rezistenta înfășurare în stare calda | | |
|----------|---|-------|----------------|--|-------|----------------|
| | U [V] | I [A] | R [Ω] | U [V] | I [A] | R [Ω] |
| 1. | | | | | | |
| 2. | | | | | | |
| 3. | | | | | | |
| 4. | | | | | | |
| 5. | | | | | | |
| | Valoare medie R1 [Ω] | | | Valoare medie R2 [Ω] | | |

| R1 [Ω] | R2 [Ω] | Θ_a [$^{\circ}\text{C}$] | Θ_1 [$^{\circ}\text{C}$] | Θ_2 [$^{\circ}\text{C}$] |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---|---|
| Rezistenta in stare rece | Rezistenta in stare calda | Temperatura mediului ambiant | temperatura înfășurării la începutul încercării | temperatura înfășurării la sfârșitul încercării |
| | | | | |

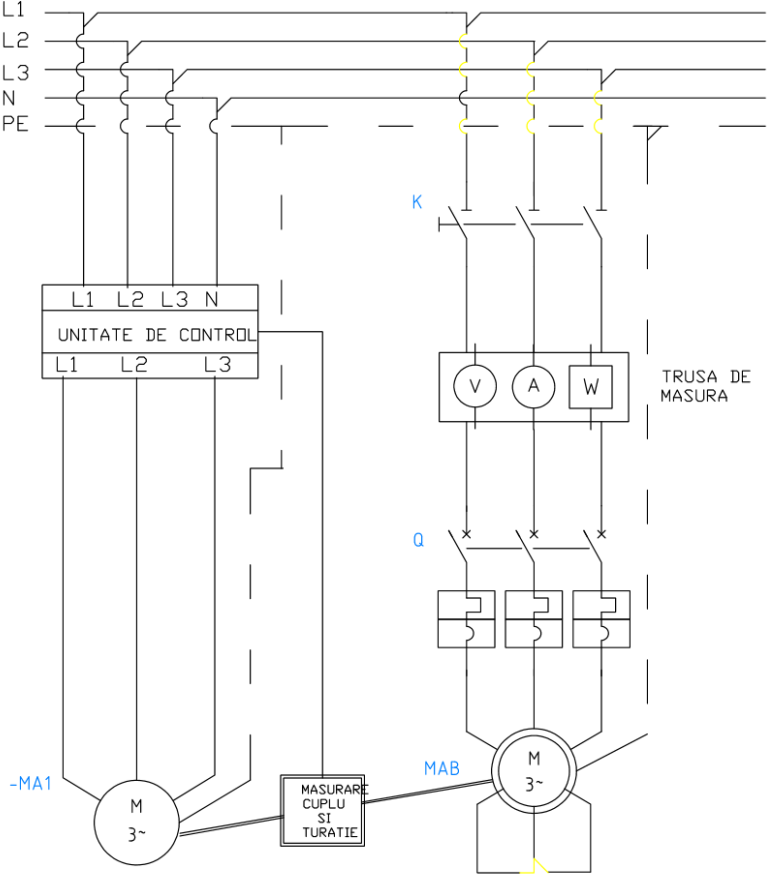
$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + \theta_1) + \theta_1 - \theta_a$$

3. Măsurarea temperaturii prin intermediul traductoarelor de temperatura montate și prin intermediul termometrului.

Se are în vedere în montajul de mai jos și introducerea de traductoare de temperatura care vor măsura temperatura în mai multe puncte din mașină. De asemenea, utilizând termometrul laser se va evalua temperatura aproximativ în aceleași puncte. Se vor nota valorile și se va determina graficul de încălzire de la temperatura ambiantă până la regimul nominal de lucru.

| Nr.crt. | Temperatura la nivelul carcase | | Temperatura la nivelul înfășurărilor statorice | | Temperatura la nivelul miezului statoric | |
|---------|--------------------------------|---------------|--|---------------|--|---------------|
| | Cu traductor | Cu termometru | Cu traductor | Cu termometru | Cu traductor | Cu termometru |
| 1. | | | | | | |
| 2. | | | | | | |
| 3. | | | | | | |
| 4. | | | | | | |
| 5. | | | | | | |
| 6. | | | | | | |
| 7. | | | | | | |
| 8. | | | | | | |
| 9. | | | | | | |
| 10. | | | | | | |
| 11. | | | | | | |
| 12. | | | | | | |
| 13. | | | | | | |
| 14. | | | | | | |
| 15. | | | | | | |
| 16. | | | | | | |
| 17. | | | | | | |
| 18. | | | | | | |
| 19. | | | | | | |

Schema de încercare



Laboratorul nr. 5

Încercări comune ale mașinilor electrice

Achiziții de date – trasare caracteristicilor utilizând metode moderne de măsură

Încercarea de laborator a unui motor sau generator se poate face pe standuri experimentale specializate care permit trasarea și vizualizarea caracteristicilor utilizând puterea de calcul a unui calculator. În laboratorul de mașini electrice aceste teste se pot realiza utilizând un stand experimental Lucas-Nuelle a cărui mașină de încercare este una asincronă, comandată de un convertor de frecvență.

Trasarea caracteristicilor de funcționare și a caracteristicilor mecanice se realizează clasic prin monitorizarea mărimilor electrice și mecanice cu ajutorul aparatelor de măsură analogice, cât și digitale, aflate la dispoziție pe standul experimental.

Utilizând instrumentația virtuală (placă de achiziție DAQ de tipul NI-6062E cu frecvența de **500kHz**, de la National Instruments și software de prelucrare a datelor (LabVIEW) se pot urmări, de asemenea, mărimile electrice – în această situație se pot vizualiza formele de undă ale curenților, tensiunilor, cuplului, etc.

În Fig. 1 este prezentat standul de încercare a motorului asincron cu rotor exterior. Motorul cu rotor exterior, **1**, este alimentat de un regulator de tensiune, **3**, cu tensiune variabilă și frecvență **$f=50\text{Hz}$ constantă**. Acesta este încărcat cu cuplu rezistent dat de o mașină de încercare, **4**, ce funcționează în regim de frână. Frâna în acest caz este o mașină asincronă ce are o putere de **1,4kW** și o turație maximă care poate ajunge de **4000rot/min**. Această mașină poate fi comandată atât în cuplu (putere) cât și în turație cu ajutorul convertorului static, **5**.

6 este dispozitivul virtual de prelucrare al datelor, prin intermediul plăcii de achiziție DAQ 6062E, semnalele primite fiind de la traductorul LEM (efect Hall), **8**.

Traductoarele de măsurare **8**, de tip LEM (efect Hall), se utilizează pentru măsurarea tensiunilor și curenților și au rolul de a transforma mărimile măsurate în tensiune continuă cuprinsă în plaja **$+10 \div -10 \text{ V}$** , aceste valori fiind compatibile cu intrările analogice ale plăcii de achiziție [46].

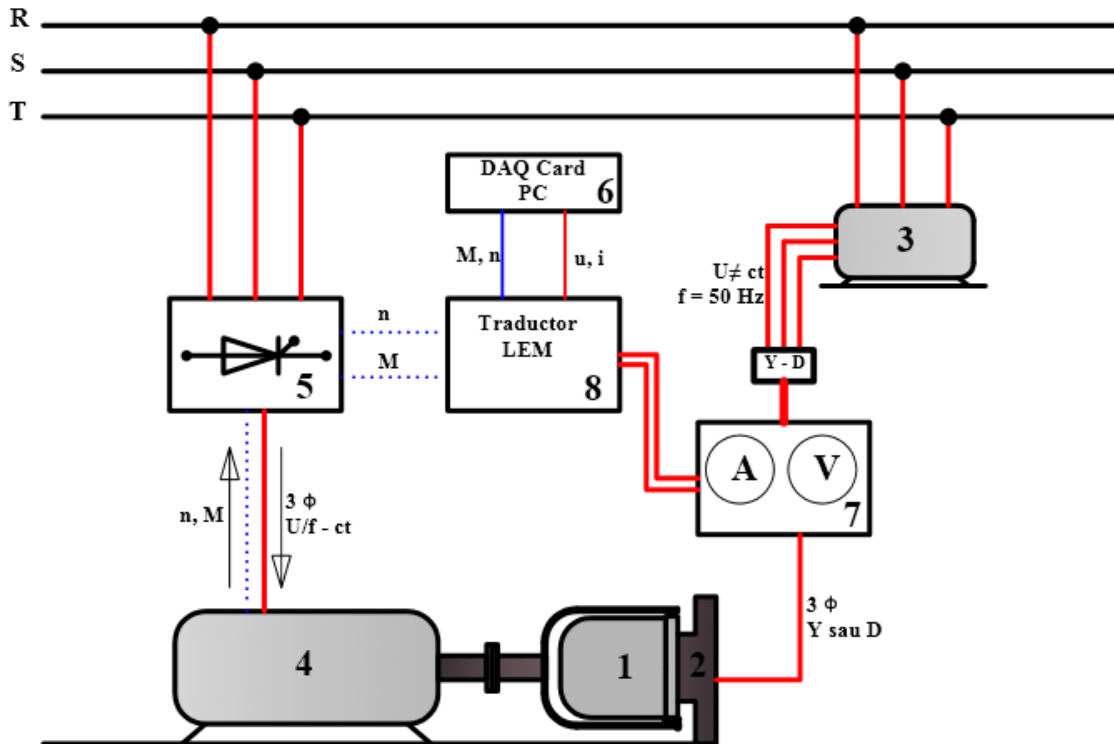


Fig. 1 Încercarea motorului alimentat de la un regulator de fază ($U/f \neq \text{constant}$)

Încărcând motorul, până la decroșare, cu trusa de măsură 7, aferentă standului de încercare, se citesc valorile următoarelor mărimi electrice: curentul și tensiunea pe cele trei faze, factorul de putere, puterea absorbită de la rețea (activă și reactivă); dar și mărimile mecanice: cuplul și turația, acestea fiind mărimi afișate de convertorul 5, „feedback-uri” de la mașina de încercat.

Standul Lucas-Nulle dispune de un soft care face posibilă trasarea caracteristicilor mecanice ale motoarelor asincrone, atât pe porțiunea stabilă cât și pe cea instabilă de funcționare.

Deoarece motorul putea funcționa atât în conexiune triunghi cât și în conexiunea stea, trasarea caracteristicilor mecanice s-a realizat pentru ambele situații: când raportul $U/f = ct.$, cât și în cazul când raportul $U/f \neq ct.$.

În Fig. 2 este prezentat standul de încercare a motorului la alimentarea acestuia cu păstrarea raportului $U/f = ct.$, printr-un convertor static (3) comandabil atât în frecvență cât și în tensiune. Acest convertor este de tip DV6-340-11k produs de compania Moeller.

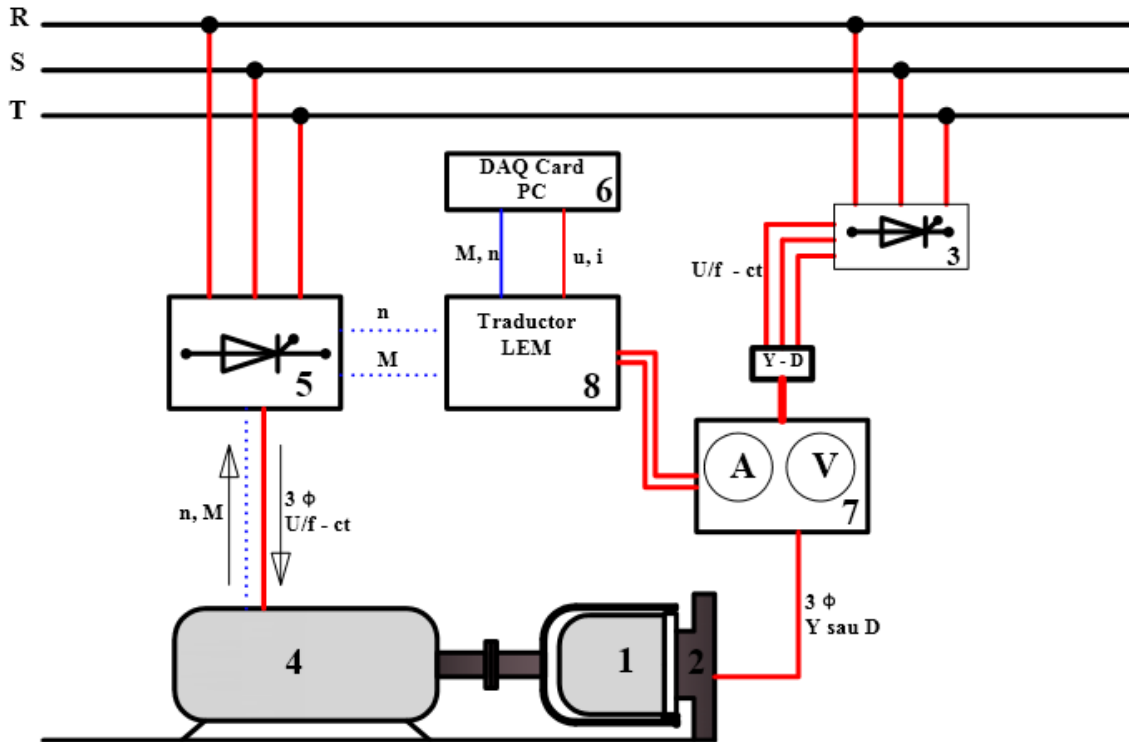


Fig. 2. Încercarea motorului alimentat de la un convertor static ($U/f=constant$)

În continuare utilizând standurile experimentale de mai sus se vor efectua o serie de încercări în scopul trasării caracteristicilor mașinii încercate. Se vor vizualiza de asemenea, toate formele de unda ale tensiunilor și curenților.

Laboratorul nr. 6

Încercarea transformatorului

Verificări preliminare - transformatorul monofazat

1. Determinarea rezistențelor înfășurărilor (în curent continuu)

Încercarea de măsurare a rezistențelor definește calitatea unui transformator, reprezentând o probă individuală. Valoarea reală a rezistenței înfășurărilor este necesară pentru calculul pierderilor Joule, pentru recalcularea corectă a pierderilor de scurtcircuit la temperatura convențională. Compararea valorilor măsurate ale rezistențelor cu cele indicate în fișa de calcul permite :

- controlul calității cuprului sau aluminiului privind rezistivitatea și secțiunea impuse;
- verificarea calității lipiturilor sau sudurilor la conexiuni;
- verificarea calității contactelor la comutatorul de reglaj al tensiunii;
- localizarea întreruperilor sau scurtcircuitelor în înfășurări.

Condiții de încercare:

- La determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu, se vor lua toate precauțiile ca la măsurare să se reducă la minimum efectele autoinducției;
- Se va nota rezistența fiecărei înfășurări, bornele între care s-a efectuat măsurarea și temperatura înfășurărilor;
- să se noteze timpul necesar pentru stabilizarea curentului de măsurare, în așa fel încât să se țină seama de el atunci când se vor efectua măsurări ale rezistenței la cald, în cadrul încercării la încălzire;
- se va nota va fi media citirilor făcute cu mai multe termometre (cel puțin trei) plasate la suprafața înfășurărilor. Rezistența și temperatura înfășurărilor trebuie să fie măsurate simultan, iar temperatura înfășurării, măsurată cu termometrul, trebuie să fie aproximativ egală cu cea a mediului ambiant.
- La determinarea rezistenței practic în stare rece, în cadrul încercării la încălzire se va avea o grijă deosebită pentru determinarea cu precizie a temperaturii medii a înfășurărilor.
- Măsurarea rezistențelor înfășurărilor se face prin metoda voltmetrului și ampermetrului.

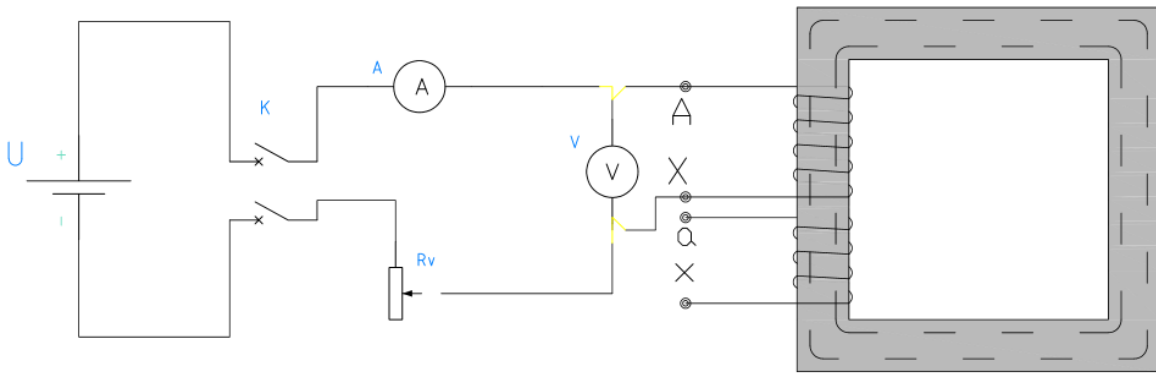
- Rezistența măsurată la temperatura t_m se recalculează la temperatura convențională de lucru pentru clasa de izolație a transformatorului. Recalcularea rezistențelor la temperatura convențională se face atât pentru înfășurările din cupru cât și pentru cele din aluminiu, cu relația:

$$R_{tN} = R_{t_m} \frac{t_N + 235}{t_m + 235}$$

unde:

R_m - este rezistența înfășurării (în stare rece) la temperatura de măsurare t_m , a acesteia; t_N - temperatura convențională (în stare practic caldă).

Standardele și normele în vigoare prevăd pentru temperatura convențională în stare caldă t_N valoarea de 75°C cu răcire naturală în ulei și 80°C cu răcire forțată în ulei (clasa A de izolație), respectiv 115°C la transformatoarele uscate (clasa F de izolație).



Măsurarea rezistențelor înfășurărilor

| Nr. crt, | Valoare rezistența înfășurare în stare rece Înfășurarea AX | | | Valoare rezistența înfășurare în stare caldă Înfășurarea ax | | |
|----------|---|-------|----------------|--|-------|----------------|
| | U [V] | I [A] | R [Ω] | U [V] | I [A] | R [Ω] |
| 1. | | | | | | |
| 2. | | | | | | |
| 3. | | | | | | |
| 4. | | | | | | |
| 5. | | | | | | |
| | Valoare medie R_{AX} [Ω] - 20°C | | | Valoare medie R_{ax} [Ω] - 20°C | | |
| | Valoare medie R_{AX} [Ω] - 80°C | | | Valoare medie R_{ax} [Ω] - 80°C | | |

2. Verificarea raportului de transformare;

Raportul de transformare al transformatoarelor trebuie să se determine foarte exact pentru a putea aprecia dacă acestea pot funcționa în paralel. Se verifică raportul de transformare atât pentru priza nominală cât și pentru celelalte prize, dacă este cazul. Această verificare se face înainte și după asamblarea completă a transformatorului.

Se aplică transformatorului tensiunea sa primară nominală și i se măsoară tensiune secundară. Raportul dintre tensiunea primară și cea secundară de mers în gol (la transformatorul monofazat) sau dintre tensiunea primară și cea secundară reprezintă raportul de transformare al transformatorului. Pentru priza nominală, raportul dintre spirele primare și secundare ale transformatorului reprezintă raportul teoretic de transformare notat:

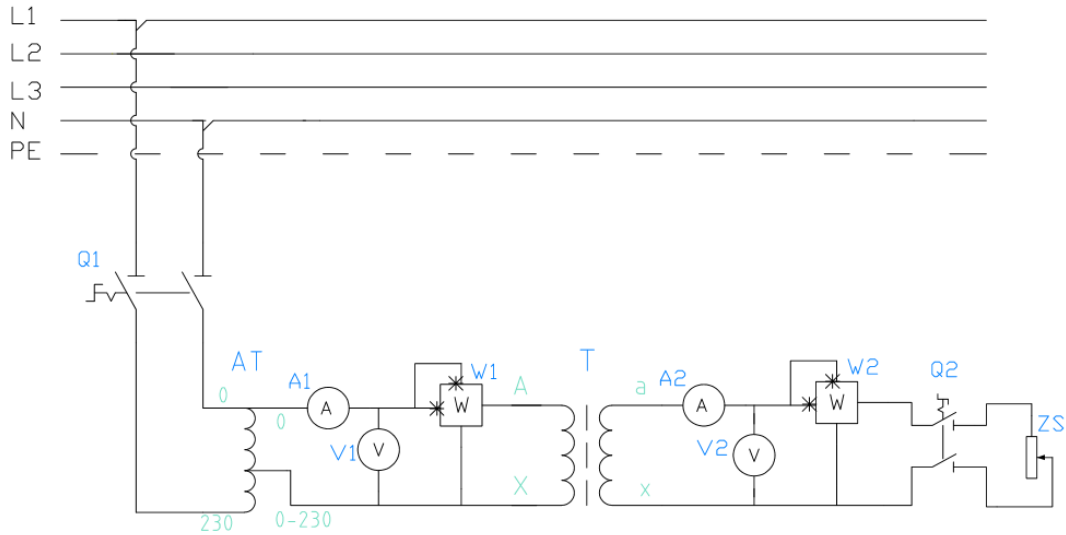
$$K_{12} = \frac{W_1}{W_2}$$

La mersul în gol $E_2=U_{20}$ și $U_1 \approx E_1$ astfel încât:

$$K_{12} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_{20}}$$

respectiv, raportul de transformare este dat practic de raportul dintre tensiunea primară și secundară de mers în gol al transformatorului

Metoda industrială pentru verificarea raportului de transformare la transformatorul monofazat este metoda două voltmetre; Schema încercării este prezentată în figura următoare.



Montaj – încercarea de mers în gol și determinarea raportului de transformare

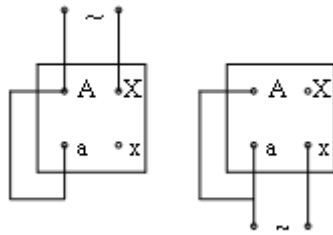
Cu Q_2 , deschis, se alimentează primarul transformatorului cu tensiunea nominală $U_1=230$ Vca și se măsoară tensiunea la bornele secundare U_2 . Raportul de transformare care se deduce din alimentarea primarului cu tensiune nominala și măsurarea tensiunii de mers în gol în secundarul transformatorului:

$$K_{12} = \frac{U_1}{U_{20}}$$

3. Verificare grupe de conexiuni;

Conectarea galvanică a fazelor unui transformator se poate realiza în mai multe variante ce constituie schemele de conexiuni ale acestuia. Conexiunea unui transformator cu două înfășurări se va simboliza prin două litere și o cifră care vor indica în ordine: schema de conexiuni a înfășurării de înaltă tensiune (litera mare), schema de conexiuni a înfășurării de joasă tensiune (litera mică) și defazajul dintre tensiunile de linie omoloage ale înfășurărilor primare și secundare, dat de numărul atașat, numit indice orar de cuplaj sau deplasare unghiulară. Acest număr, multiplicat cu 30° , indică defazajul dintre fazorul tensiunii de linie corespunzător înfășurării de înaltă tensiune luat ca origine și fazorul tensiunii de linie omoloage a înfășurării de joasă tensiune. Defazajul are sens invers trigonometric (sens orar).

Verificarea grupe de conexiuni prin metoda celor două voltmetre, implică conectarea bornelor A și a între ele, iar transformatorul se va alimenta la gol pe oricare din înfășurările de înaltă tensiune sau joasă tensiune.



Determinarea grupei de conexiuni

4. Determinarea rezistenței de izolație a înfășurărilor;

Măsurarea caracteristicilor izolației transformatoarelor (rezistența de izolație a înfășurărilor, tangenta unghiului de pierderi dielectrice, capacitatea înfășurărilor în raport cu pământul și între ele, creșterea relativă a capacității la variația frecvenței sau a timpului de descărcare), se face la o temperatură a izolației de peste 10 °C. În cazul încălzirii transformatorului, determinarea caracteristicilor izolației se face după întreruperea încălzirii, dar nu mai devreme de 60 minute în cazul încălzirii prin curent de scurtcircuit sau prin curent continuu și nu mai devreme de 30 minute în cazul încălzirii exterioare (prin metoda inducției).

Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor se face înainte de măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice și a capacității înfășurărilor. Măsurarea se face cu un megohmmetru care are o tensiune de cel puțin 2500V, cu o limită superioară de măsurare de cel puțin 10000MΩ. Înainte de a începe fiecare măsurare, înfășurarea de încercat trebuie să fie legată la pământ timp de cel puțin 2 minute. Citirea rezistenței se face de două ori: la 15 și 60 s după aplicarea tensiunii pe obiectul de încercat, determinându-se coeficientul de absorbție ca raport al celor două valori citite.

| Nr. crt, | Înfășurarea AX | | Înfășurarea ax | |
|----------|----------------|--------|----------------|--------|
| | 500 V | 1000 V | 500 V | 1000 V |
| 1. | | | | |

Încercarea de mers în gol

Încercarea de funcționare în gol se execută ca probă individuală cu transformatorul complet montat

Această încercare are drept scop determinarea în principal a pierderilor în fier, a curentului de funcționare în gol și a raportului de transformare. De asemenea, în cadrul acestei încercări pot fi puse în evidență unele fenomene specifice transformatoarelor trifazate cu miez compact funcționând la gol.

Alimentarea transformatorului se face cu o tensiune având frecvența nominală. La transformatorul trifazat se consideră ca tensiune aplicată, media aritmetică a tensiunilor de alimentare pe cele trei faze ale transformatorului, iar drept curent de mers în gol, media aritmetică a curenților mășurați pe cele trei faze. Pentru măsurarea puterii de mers în gol se recomandă utilizarea unor wattmetre de construcție specială, pentru valori reduse ale factorului de putere. Dacă se urmărește o determinare riguroasă a pierderilor în fier din puterea de mers în gol se vor scădea pierderile prin efect Joule, produse în înfășurarea primară de curentul de mers în gol.

Puterea măsurată P_{10} , absorbită de transformator, va acoperi pierderile în fier și pierderile în cupru datorate curentului I_{10} , puterea utilă în acest regim fiind nulă.

În schema de mai sus, cu Q_2 , deschis, se alimentează primarul transformatorului cu tensiunea nominală $U_1=230V$ ca: 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:

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 $(2\div 10)\% \cdot I_{1N}$, procentul mare referindu-se la transformatoarele de mică putere.

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: $P_0 = p_{Fe} + p_{Cu0}$

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_{10} și P_{10} se vor calcula parametrii echivalenți ai circuitului magnetic al transformatorului:

- factorul de putere la mersul în gol:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_{10}}{U_{1N} \cdot I_{10}}$$

- impedanța de magnetizare Z_m :

$$Z_m = K \frac{U_{20}}{I_{10}}$$

- rezistența de magnetizare R_m :

$$R_m = \frac{P_{10}}{I_{10}^2}$$

- 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:

| P_{10} [W] | U_{1N} [V] | I_{10} [A] | U_{20} [V] | K | $\cos\varphi_0$ | Z_m [Ω] | R_m [Ω] | X_m [Ω] | p_{Fe} [W] |
|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|-----|-----------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| | | | | | | | | | |

Laboratorul nr. 7

Încercarea transformatorului

Încercarea la scurtcircuit a transformatorului

Încercarea la scurtcircuit este necesară determinării tensiunii nominale de scurtcircuit, a pierderilor din înfășurări și a parametrilor de scurtcircuit ai transformatorului.

La încercarea de scurtcircuit a transformatorului, una din înfășurări se leagă în scurtcircuit, iar cealaltă se alimentează de la o sursă de tensiune variabilă, sinusoidală, de frecvență egală cu frecvența nominală a transformatorului. Rezistența conexiunilor folosite pentru încercări trebuie să fie suficient de mică pentru a nu afecta rezultatele măsurărilor. Dacă nu este posibil să se realizeze conexiuni în care pierderile să poată fi neglijate în raport cu pierderile datorate sarcinii, trebuie să se țină seama de ele. La transformatoarele cu mai multe înfășurări, curentul va corespunde curentului nominal al înfășurării de putere mai mică din perechea de înfășurări supuse încercării. Pentru transformatoarele cu trei înfășurări se vor face trei încercări. Pentru a nu pune în pericol înfășurarea printr-o încălzire excesivă, încercarea la scurtcircuit se realizează pentru curenți care nu depășesc valorile nominale.

Tensiunea de scurtcircuit (U_{sc}), impedanța de scurtcircuit (Z_{sc}) și pierderile (P_{sc}), datorate sarcinii, se determină la frecvența nominală, aplicând o tensiune practic sinusoidală uneia din înfășurări, cealaltă fiind scurtcircuitată (înfășurările fiind conectate pe priza corespunzătoare).

Încercarea de scurtcircuit se realizează pe priza nominală de tensiune a înfășurării și se măsoară temperatura înfășurării. Tensiunea de scurtcircuit, care se stabilește la curenții nominali și transformatorul în regim termic normal de funcționare, reprezintă tensiunea nominală de scurtcircuit U_{scn} .

Dacă se scurtcircuitează bornele înfășurării secundare și se măsoară tensiunea primară (de linie) U_{sc} la frecvența nominală și la diferite valori ale curentului primar de linie I_{sc} , se obține caracteristica de scurtcircuit $U_{sc}(I_{sc})$.

Pentru o temperatură constantă a înfășurărilor, această caracteristică va reprezenta o dreaptă, deoarece liniile câmpului de dispersie se închid în majoritate prin aer, iar curentul de magnetizare este foarte mic.

Raportând tensiunea U_{scn} la tensiunea nominală primară de linie U_N se va obține tensiunea relativă de scurtcircuit la curentul nominal, u_{sc} :

$$u_{sc} = \frac{U_{scn}}{U_N}$$

Măsurând puterea absorbită de primar P_{sc} , aceasta va reprezenta pierderile Joule în înfășurări și pierderile din piesele masive de consolidare, situate în calea câmpului de scăpări (pierderile în fier din circuitul magnetic principal sunt neglijabile).

Încercarea la scurtcircuit poate fi realizată cu un curent cuprins între (25 -100)% din curentul nominal, de preferat o valoare de minim 50% din curentul nominal (pe priza principală) sau din curentul de priză. Dacă încercarea se realizează la alte valori ale curentului decât cea nominală, atunci se vor calcula pierderile de scurtcircuit și tensiunea de scurtcircuit corespunzătoare curentului nominal al înfășurărilor astfel:

$$P_{sc} = P_{scm} \cdot \left(\frac{I_N}{I_m} \right)^2 \quad [\text{W}]$$

$$U_{sc} = U_{scm} \cdot \left(\frac{I_N}{I_m} \right) \quad [\text{V}]$$

unde:

I_N - este valoarea nominală a curentului înfășurării căreia i s-a aplicat tensiunea;

I_m - valoarea curentului de încercare;

P_{scm}, U_{scm} - puterea și tensiunea de scurtcircuit măsurate la încercare.

Pierderile măsurate la încercarea de scurtcircuit și recalculat la curentul nominal se vor raporta la temperatura convențională t_N corespunzătoare clasei de izolație a înfășurării:

$$P_{scN} = P_{scm} \frac{t_N + 235}{t_m + 235}$$

unde:

t_m - temperatura la care s-au măsurat pierderile de scurtcircuit P_{scm} .

Separarea pierderilor principale din înfășurări de cele suplimentare, poate fi efectuată cunoscând valorile rezistențelor înfășurărilor, recalculat la temperatura convențională t_N .

Cunoscând pierderile principale (Joule) pentru curenții nominali ca fiind:

$$P_{Jt_N} = m_1 \cdot R_{1t_N} \cdot I_{1N}^2 + m_2 \cdot R_{2t_N} \cdot I_{2N}^2$$

rezultă determinarea pierderilor suplimentare cu relația:

$$P_s = P_{sct_N} - P_{J_{t_N}}$$

Tensiunea de scurtcircuit în procente din tensiunea nominală va fi:

$$u_{sc} = \frac{U_{sct}}{U_N} \cdot 100 \quad [\%]$$

Componentele activă u_{sca} și reactivă u_{scr} ale tensiunii de scurtcircuit, determinate la temperatura t_m , vor fi date de relațiile:

$$u_{sca} = \frac{P_{sct_m}}{S_N} \cdot 100$$

$$u_{scr} = \sqrt{u_{sc}^2 - u_{sca}^2}$$

unde:

S_N - este puterea nominală a transformatorului în VA.

Tensiunea de scurtcircuit u_{sc} se va recalcula la temperatura convențională t_N cu relația:

$$u_{sct_N} = \sqrt{\left(u_{sca} \cdot \frac{t_N + 235}{t_m + 235} \right)^2 + u_{scr}^2} \quad [\%]$$

Dacă în timpul încercării frecvența f diferă de frecvența nominală f_N cu mai mult de $\pm 3\%$ se va recalcula tensiunea de scurtcircuit u_{sct_N} la frecvența nominală cu relația:

$$u_{sct_N}(f_N) = \sqrt{\left(u_{sca} \cdot \frac{t_N + 235}{t_m + 235} \right)^2 + \left(u_{scr} \cdot \frac{f_N}{f} \right)^2} \quad [\%]$$

Încercarea la scurtcircuit este necesară, de asemenea, pentru determinarea parametrilor de scurtcircuit, respectiv rezistența și reactanța de scurtcircuit.

Pentru transformatorul monofazat, rezistența de scurtcircuit, constituind rezistența raportată la înfășurarea primară, se obține cu relația:

$$R_{sc} = R_1 + R_2' = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$$

unde:

R_1 - este rezistența ohmică a înfășurării primare

R_2' - rezistența secundară raportată la primar a înfășurării secundare $R_2' = K^2 \cdot R_2$, K fiind raportul de transformare, iar R_2 rezistența ohmică a înfășurării secundare.

Reactanța de scurtcircuit raportată la înfășurarea primară este:

$$X_{sc} = X_1 + X_2' = \frac{1}{I_{sc}} \sqrt{U_{sc}^2 - \left(\frac{P_{sc}}{I_{sc}}\right)^2}$$

unde:

X_1 - este reactanța de scăpări a înfășurării primare;

X_2' - este reactanța secundară raportată la primar $X_2' = K^2 \cdot X_2$ fiind raportul de transformare, iar X_2 reactanța de scăpări a înfășurării secundare.

Impedanța de scurtcircuit este dată de relația:

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

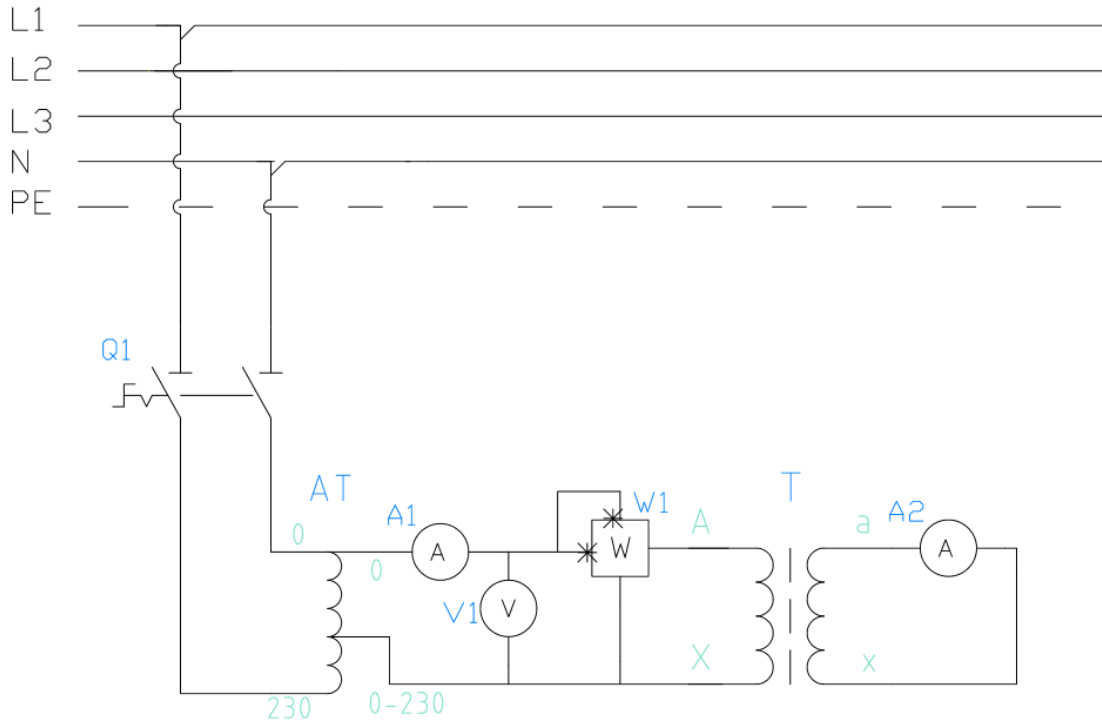
Defazajul de scurtcircuit φ_{sc} se determină din relația:

$$\cos \varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{U_{sc} \cdot I_{sc}}$$

Valoarea măsurată a impedanței de scurtcircuit se raportează la temperatura convențională corespunzătoare clasei de izolație a transformatorului.

Cu acești parametri se va determina triunghiul de scurtcircuit al transformatorului, respectiv triunghiul lui Kapp, utilizat în predeterminarea caracteristicilor de funcționare în sarcină a transformatorului.

Schema încercării de scurtcircuit este prezentată în figura următoare.



Montaj – încercarea de scurtcircuit și verificarea la încălzire

Astfel se completează tabelul:

| $P_{1sc} [W]$ | $U_{1sc} [V]$ | $I_{1sc} [A]$ | $I_2 [A]$ | u_{sc} | u_{sca} | u_{scr} | $R_{sc} [\Omega]$ | $X_{sc} [\Omega]$ | $Z_{sc} [W]$ |
|---------------|---------------|---------------|-----------|----------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|--------------|
| | | | | | | | | | |
| $P_{j1} [W]$ | $P_{j2} [W]$ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Încercarea la încălzire

Încercarea la încălzire a transformatoarelor are drept scop verificarea regimului termic și determinarea încălzirii diferitelor părți ale acestuia : înfășurări, miez magnetic, ulei, elemente de consolidare sau protecție. Această încercare urmărește încadrarea suprațemperaturilor în limita valorilor admisibile impuse de clasa de izolație a materialelor izolante folosite. Supraîncălzirea și fenomenele termice asociate ei determină limitarea puterii transformatoarelor prin necesitatea

micșorării curenților prin înfășurări, în scopul evitării efectelor distructive datorate supratemperaturilor.

Pentru transformatoarele uscate, fără carcasă de protecție, simbolizarea modului de răcire va cuprinde numai două simboluri, corespunzătoare agentului de răcire care este în contact cu înfășurările sau, în cazul înfășurărilor înglobate într-un material izolant (rășină epoxidică), în contact cu suprafața de înglobare.

Încercarea transformatoarelor la încălzire, se poate face prin mai multe metode:

- încercarea directă în sarcină,
- metoda încercării la scurtcircuit,
- încercarea în sarcină prin punerea în opoziție a două transformatoare identice.

Pentru transformatoarele uscate, temperatura aerului de răcire trebuie să fie pe cât posibil constantă în timpul încercării și în special în cursul ultimului sfert de oră al duratei încercării. Considerând răcirea prin circulația naturală a aerului, termometrele (cel puțin trei) vor fi așezate în diferite puncte în jurul transformatorului, la jumătate din înălțimea suprafeței de răcire și la o distanță de 1 m până la 2 m de acesta.

Măsurarea temperaturii prin intermediul măsurării rezistenței electrice

Se alimentează conform schemei de mai jos un motor asincron cu rotor bobinat. În prealabil se va determina rezistența înfășurărilor prin metoda ampermetrului și voltmetrului (în stare rece). După o încărcare în cuplu rezistent la arbore pe o perioadă de timp suficient de mare se va determina rezistența înfășurărilor în stare caldă. Astfel aplicând metoda de calcul descrisă mai sus se va evalua temperatura de lucru a mașinii.

| Nr. crt, | Valoare rezistența înfășurare în stare rece | | | Valoare rezistența înfășurare în stare caldă | | |
|----------|---|-------|----------------|--|-------|----------------|
| | U [V] | I [A] | R [Ω] | U [V] | I [A] | R [Ω] |
| 1. | | | | | | |
| 2. | | | | | | |
| 3. | | | | | | |
| 4. | | | | | | |
| 5. | | | | | | |
| | Valoare medie R1 [Ω] | | | Valoare medie R2 [Ω] | | |

| R1 [Ω] | R2 [Ω] | Θ_a [$^{\circ}\text{C}$] | Θ_1 [$^{\circ}\text{C}$] | Θ_2 [$^{\circ}\text{C}$] |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---|---|
| Rezistența în stare rece | Rezistența în stare caldă | Temperatura mediului ambiant | temperatura înfășurării la începutul încercării | temperatura înfășurării la sfârșitul încercării |
| | | | | |

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + \theta_1) + \theta_1 - \theta_a$$

Măsurarea temperaturii prin intermediul traductoarelor de temperatura montate și prin intermediul termometrului.

Se are în vedere în montajul de mai jos și introducerea de traductoare de temperatura care vor măsura temperatura în mai multe puncte din mașină. De asemenea, utilizând termometrul laser se va evalua temperatura aproximativ în aceleași puncte. Se vor nota valorile și se va determina graficul de încălzire de la temperatura ambiantă până la regimul nominal de lucru.

| Timp (min) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|------------------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Temperatura [$^{\circ}\text{C}$] | | | | | | | | | | | | | |

Laboratorul nr. 8

Încercarea mașinii de curent continuu

Programul de încercări pentru mașinile de curent continuu

1. Verificarea tehnică generală.
2. Măsurarea rezistenței de izolație între înfășurări și față de masa mașinii, cu mașina în stare caldă. Ca încercare de lot, se executa cu mașina în stare rece.
3. Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu, cu mașina în stare rece. Ca încercare de lot, se execută numai dacă este prevăzută în documentele tehnice normative.
4. Determinarea sensului de rotație.
5. Ridicarea caracteristicii de funcționare în gol.
6. Determinarea curentului de excitație la funcționarea în gol, la generatoare.
7. Determinarea turației la funcționarea în gol la motoare, cu excepția celor cu excitație serie.
8. Încercarea la încălzire.
9. Ridicarea caracteristicilor în sarcină la generatoare: caracteristica externă, caracteristica de reglaj (numai dacă este prevăzută în documentele tehnice normative), caracteristica internă (numai dacă este prevăzută în documentele tehnice normative).
10. Ridicarea caracteristicilor în sarcină la motoare: caracteristica turației în sarcină, caracteristica de reglaj a turației.
11. Verificarea comutației și determinarea zonei de comutație fără scânteii la mașinile cu poli auxiliari cu putere mai mare de 50kW.
12. Determinarea pierderilor și randamentului.
13. Încercarea la suprasarcină de curent.
14. Încercarea la suprasarcină de cuplu, la motoare.
15. Încercarea la supraturație.
16. Încercarea la tensiune a izolației între înfășurări și față de masa mașinii.
17. Încercarea izolației între spire.

18. Măsurarea nivelului de vibrații. Ca verificare de lot, se execută prin eșantionare; numărul de motoare supuse încercării se stabilește în documentele tehnice normative.

19. Măsurarea nivelului de zgomot.

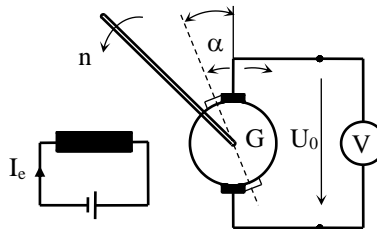
20. Verificarea gradului normal de protecție. Este suficientă verificarea unei singure tipodimensiuni pentru toate mașinile similare din punct de vedere al gradului normal de protecție.

Așezarea periiilor în axa neutră

Prin axă neutră, la mașinile de curent continuu, se înțelege acea poziție a periiilor (de fapt a colierului port-perii) pentru care tensiunea indusă la mersul în gol ca generator este maximă, celelalte condiții, în general de simetrie constructivă fiind îndeplinite.

Metoda tensiunii maxime induse ca generator

Această metodă are la bază chiar definiția axei neutre. Se excită mașina în curent continuu cu $I_e = ct$, se rotește rotorul din exterior la o viteză apropiată de viteza nominală ($n = ct$) și se măsoară tensiunea indusă la perii.



Montaj pentru calarea periiilor în axa neutră prin metoda tensiunii maxime induse ca generator

Se modifică poziția colierului până când tensiunea măsurată este maximă, în această poziție fiind fixat colierul port-perii. Se știe că la o decalare a periiilor din axa neutră cu un unghi α , valoarea tensiunii induse este dată de relația aproximativă:

$$U_0 = U_{m0} \cdot \cos \alpha$$

unde: U_{m0} - este tensiunea maximă indusă la perii când acestea sunt plasate în axa neutră.

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta \alpha} = U_{m0} \cdot \sin \alpha$$

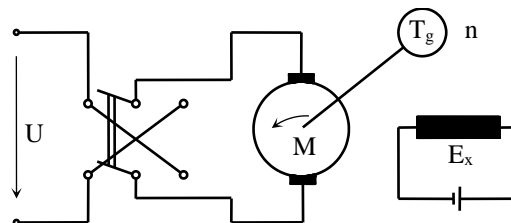
Sensibilitatea relativă tinde spre zero pentru unghiuri α tinzând la zero, încât această metodă se poate considera de precizie redusă. Altfel spus, este destul de greu de apreciat când valoarea tensiunii induse la perii este maximă pentru a se obține poziția ideală a plasării periiilor în axa neutră.

O altă influență importantă asupra mărimii tensiunii induse o are și curentul de scurtcircuit obținut în secțiunile aflate în comutație. De exemplu, la deplasări reduse ale periiilor în sensul rotației mașinii, curenții de scurtcircuit tind să mărească fluxul rezultat al generatorului. Această influență este cu atât mai pronunțată cu cât numărul secțiilor scurtcircuitate, aflate simultan în comutație, este mai mare în raport cu numărul secțiilor cuprinse între perii. De asemenea, influența spirelor scurtcircuitate asupra tensiunii induse depinde și de gradul de saturație a mașinii încât pentru creșterea preciziei metodei, este indicat ca încercarea să se efectueze în condițiile unui curent mare de excitație și pe cât posibil la viteză de rotație mică.

Alte cauze care pot conduce la diminuarea preciziei metodei sunt: modificările de contact ale traseului perie-colector, variațiile de viteză ale motorului de antrenare pe timpul încercării, etc..

Metoda vitezelor egale ca motor

Se alimentează mașina, cu excitație separată, de la o sursă de tensiune constantă în așa fel încât, la mersul în gol, viteza măsurată cu un tahogenerator să fie apropiată de cea nominală.



Montaj pentru calarea periiilor în axa neutră prin metoda tensiunii maxime induse ca motor

Se modifică poziția colierului port-perii până când viteza motorului este maximă (poziționare grosieră). Viteza de rotație a motorului depinde de fluxul polilor principali, al polilor de comutație (auxiliari), al reacției indusului și al secțiilor scurtcircuitate de perii, primul fiind, evident, preponderent. Întrucât motorul trebuie să realizeze un cuplu electromagnetic care să învingă cuplul de pierderi în gol, în situația ideală a existenței în mașină numai a fluxului de excitație, din condiția:

$$M = k_m \cdot \Phi_0 \cdot I_{A0} \cdot \cos \alpha = M_{r0}$$

rezultă că la $\alpha = 0$, curentul I_{A0} este minim. Așadar, o poziționare aproximativă a periilor în axa neutră se poate realiza dacă se caută situația $I_{A0} = \text{minim}$. Pentru o poziționare mai precisă se inversează sensul tensiunii aplicate, păstrându-se valoarea precedentă a acesteia și se urmărește ca în celălalt sens de rotație viteza de regim permanent să fie egală cu cea de la prima încercare (curentul fiind, de asemenea, la aceeași valoare și trecând prin minim). După câteva încercări succesive, se poate considera drept poziție acceptabilă cea pentru care vitezele în cele două sensuri de rotație și curenții absorbiți au valori egale. Sensibilitatea se poate crește dacă se fac încercările la curenți de excitație reduși. De asemenea, este important ca periile să fie rodite și să calce în același mod în ambele sensuri de rotație ale mașinii.

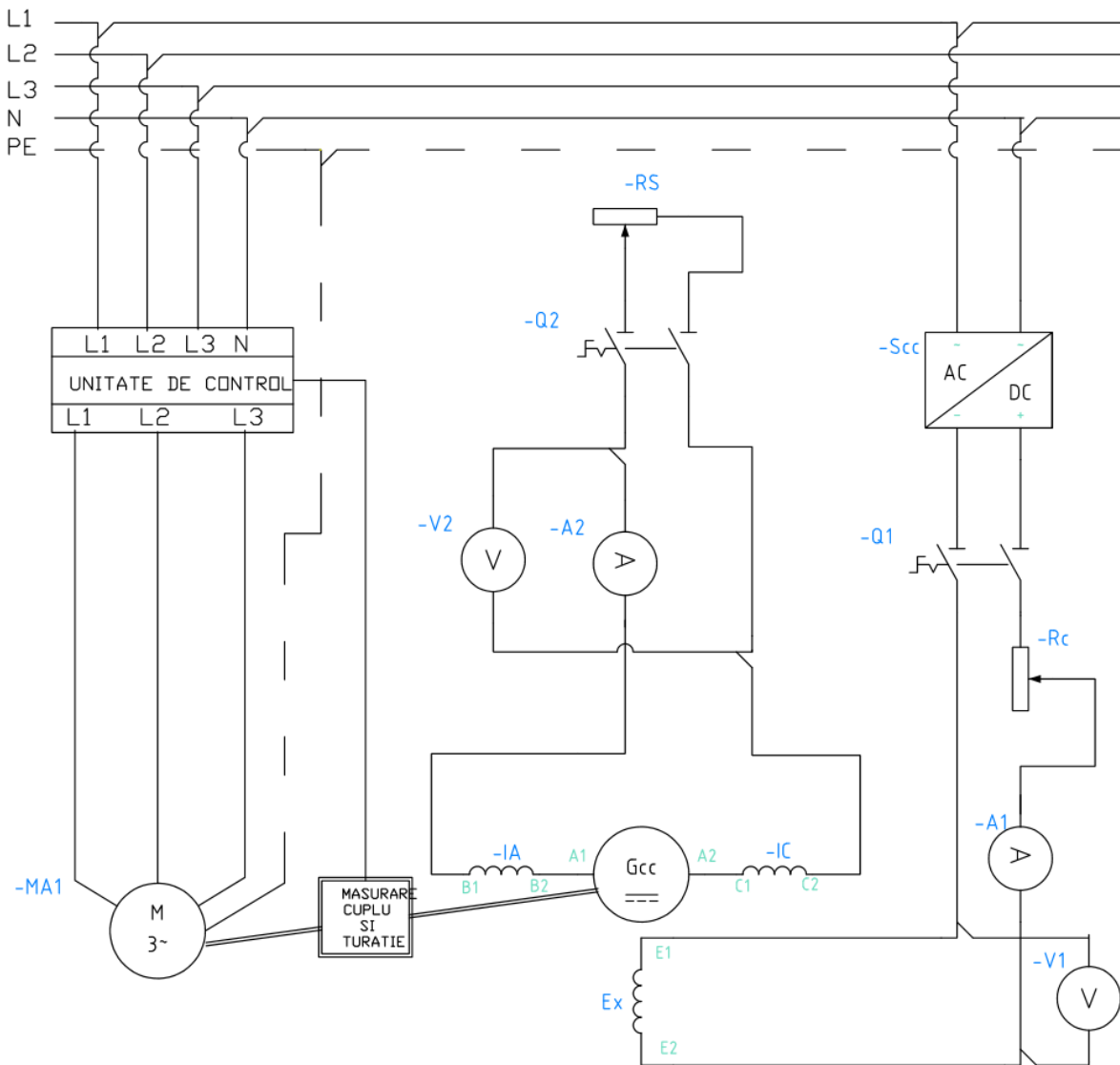
Determinarea randamentului mașinii de curent continuu

Determinarea randamentului mașinilor de curent continuu prin metoda separării pierderilor

Caracteristica randamentului mașinii de curent continuu reprezintă dependența $\eta = f(P_2)$ pentru tensiune constantă, celelalte condiții fiind specifice tipului de mașină. La determinarea pierderilor prin diferite metode, mașinile sunt puse adesea să funcționeze în alt regim decât regimul pentru care au fost construite; spre exemplu, generatoarele sunt puse să funcționeze în regim de motor sau invers. În asemenea situații trebuie să se asigure condițiile nominale de funcționare pentru producerea pierderilor: turația, inducția magnetică în întrefier, pierderile în înfășurări, solenația de reacție transversală și altele.

Metoda separării pierderilor, ca metodă indirectă, constă de fapt în efectuarea unor măsurători asupra mașinii de încercat la funcționarea în gol neexcitată (pentru determinarea pierderilor mecanice), respectiv excitată (pentru separarea pierderilor în miezul feromagnetic) și la funcționarea în sarcină (pentru separarea pierderilor prin indus).

Încercarea se realizează cu schema de montaj dată în figura de mai sus, în care mașina este alimentată de la o sursă de curent continuu, reglabilă, iar înfășurarea de excitație de la o sursă separată în modul următor:



Schema pentru determinarea randamentului unei masini de cc.

- Se măsoară rezistența indusului R_{atm} și se recalculează valoarea pentru temperatura convențională t_N :

$$R_a = R_{atm} \frac{t_N + 235}{t_m + 235}$$

unde: R_{atm} - este rezistența măsurată la temperatura t_m ; t_m - temperatura la care s-a făcut măsurarea; t_N - temperatura convențională de regim ce se consideră 75°C pentru izolația în clasă A, E, B și 115°C pentru izolația în clasă F sau H.

- Se determină pierderile mecanice și în fier. Mașina de încercat este pusă să funcționeze ca motor la gol, la o turație și un flux util corespunzătoare sarcinii pentru care se determină randamentul. Pentru a stabili același flux util la mersul în gol ca și la funcționarea în sarcină la aceeași turație, este necesar ca tensiunea electromotoare pe care ar avea-o mașina la curentul I_a să fie egală cu tensiunea electromotoare la mersul în gol. În acest scop, pentru regimul de generator al mașinii se va aplica o tensiune la borne $U_{oG} > U_n$ dată de:

$$U_{oG} = U_n + R_a I_a + \sum \Delta U_p$$

iar în regim de motor tensiunea $U_{oM} < U_n$:

$$U_{oM} = U_n - R_a I_a - \sum \Delta U_p$$

unde: U_n - este tensiunea nominală a mașinii (înscrisă pe plăcuța indicatoare).

- Se alimentează înfășurarea de excitație cu reostatul de câmp R_c , pe poziție minimă și se alimentează indusul cu tensiune reglabilă până când motorul ajunge la turația nominală. Puterea absorbită de motor de la rețea reprezintă pierderile la mersul în gol P_o . Aceste pierderi sunt aceleași la funcționarea ca motor și la funcționarea ca generator, dacă viteza și tensiunea electromotoare sunt aceleași.

Scăzând din P_o pierderile în indus la mersul în gol, se determină suma, pierderilor în fier și mecanice, $p_m + p_{Fe}$:

$$p_m + p_{Fe} = P_o - R_a I_a^2 = U_o I_o - R_a I_o^2$$

unde: R_a - este rezistența recalculată la temperatura convențională a indusului.

- Se calculează pierderile în rezistența de contact perie-colector $p_p = \sum \Delta U_p \cdot I_a$, știind că $\sum \Delta U_p = 2V$ pentru periile din cărbune și $\sum \Delta U_p = 0,6V$ pentru periile din metale sau aliaje.

- Se calculează pierderile suplimentare p_s din înfășurarea indusului, care se adoptă, conform STAS 9904/8-77, între 1% și 0,5% din puterea nominală a mașinii.

- Se calculează pierderile în înfășurarea de excitație ($p_{je} = R_e \cdot I_{eN}^2$) și pierderile în înfășurarea indusului ($p_j = R_a \cdot I_a^2$), la diverși curenți prin indus.

- Se calculează suma totală a pierderilor:

$$\sum P = p_m + p_{Fe} + p_j + p_{je} + p_p + p_s$$

- Se determină valoarea randamentului, pentru cele două regimuri de motor:

$$\eta_M = \frac{U_{0M} \cdot I_a - \sum P}{U_{0M} \cdot I_a} \cdot 100 [\%]$$

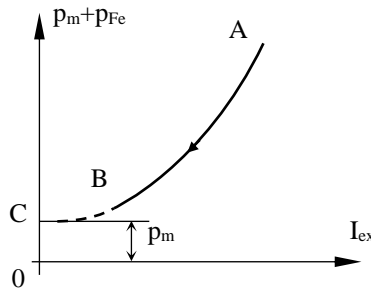
și generator:

$$\eta_G = \frac{U_{0G} \cdot I_a}{U_{0G} \cdot I_a + \sum P} \cdot 100$$

Separarea pierderilor mecanice de pierderile în fier

Pentru separarea pierderilor mecanice de pierderile în fier din suma determinată $p_m + p_{Fe}$, există mai multe posibilități și anume:

Separarea pierderilor mecanice de pierderile în fier prin reducerea excitației



Determinarea pierderilor mecanice pentru mașina de c.c.

Se reduce treptat tensiunea de alimentare pornind de la o valoare $U > U_n$ și curentul de excitație, păstrând viteza constantă, determinându-se pentru fiecare valoare a tensiunii U suma $p_m + p_{Fe}$ (mașina este în gol) trasându-se curba AB: $p_m + p_{Fe} = f(I_e)$ (Se prelungește curba AB (porțiunea BC), iar ordonata la origine OC va reprezenta valoarea pierderilor mecanice.

| | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--|--|--|--|--|
| R_a [Ω] | R_{ex} [Ω] | R_c [Ω] | R_{pa} [Ω] | R_a [Ω] | | | | | |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|---------------|--------------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| P_{ja} [W] | P_{je} [W] | P_{jpa} [W] | P_{jc} [W] | P_p [W] | P_m [W] | | | | |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---------|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| p [W] | η [%] | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Laboratorul nr. 9

Încercarea generatorului sincron cu magneți permanenți

Activitatea de testare pe stand a generatorului electric se realizează prin respectarea programului de încercări, în conformitate cu tehnica de specialitate privind încercarea mașinilor electrice.

Programul de încercări de testare a generatorului sincron cu magneți permanenți este următorul:

- Verificarea tehnică generală.
- Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu, cu mașina în stare rece.
- Determinarea sensului de rotație.
- Ridicarea caracteristicii de funcționare în gol.
- Ridicarea caracteristicii de scurtcircuit simetric trifazat permanent.
- Încercarea la încălzire.
- Determinarea experimentală a reactanțelor înfășurărilor la mașinile sincrone.
- Determinarea pierderilor și randamentului.
- Încercarea la supraturaj.
- Încercarea la tensiune a izolației între înfășurări și față de masa mașinii.
- Încercarea izolației între spire.
- Măsurarea nivelului de vibrații.
- Măsurarea nivelului de zgomot.
- Verificarea gradului normal de protecție.

Standul experimental de testare a generatorului a cupinde următoarele:

Tipul mașinii de încercare:

motor de curent continuu de putere 10 kW, alimentat prin intermediul unui autotransformator si punte redreoare. Viteza de lucru a motorului de antrenare: maxim 3000 rot/min.

Tipul mașinii încercate:

Generator sincron cu magneți permanenți, cu flux axia – putere maximă aproximativă, în curs de determinare: 2 kW. Viteza de lucru a generatorului: maxim 300 rot/ min.

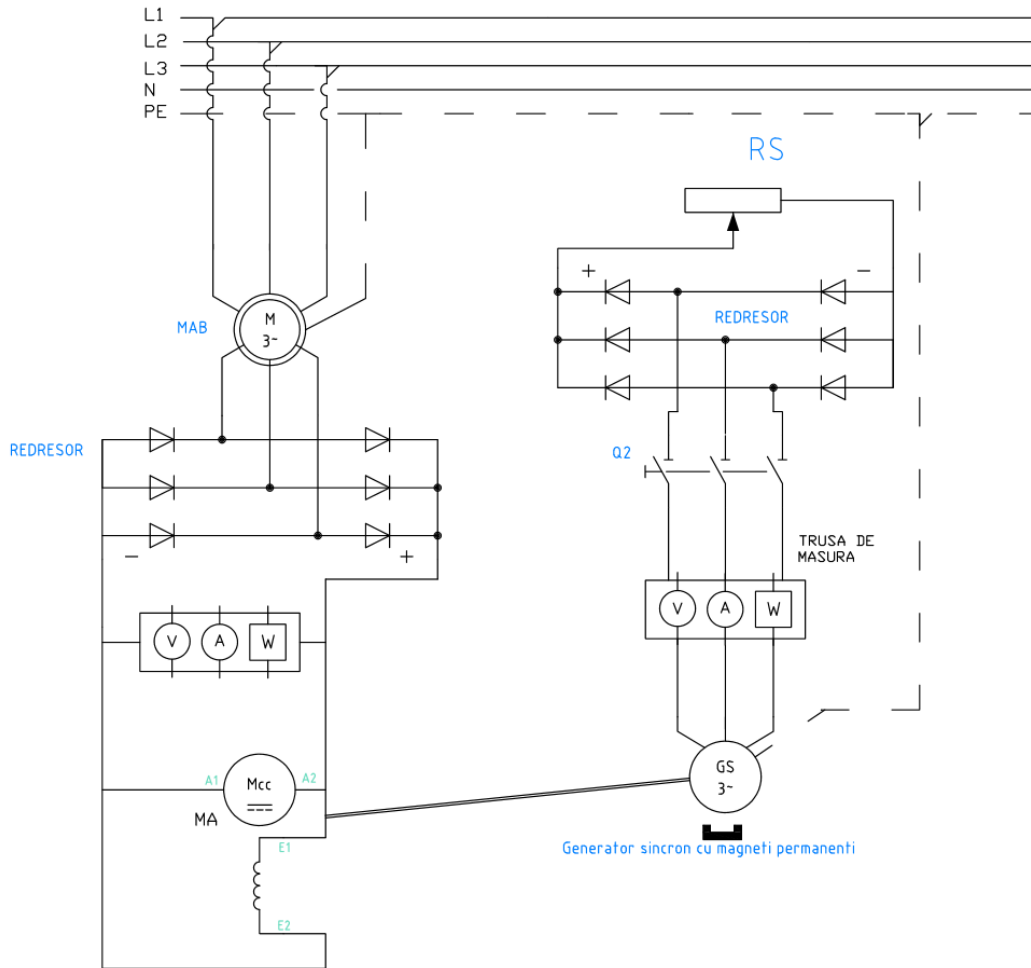
Trusa trifazată de măsură analogică: măsurarea tensiunii produse de generator, măsurarea puterii generate, măsurarea curentului absorbit de sarcină;

Trusă de măsură trifazată electronică, compactă, cu transformatoare de curent: măsoară puterea activă, puterea reactivă, factorul de putere, etc.

Reostat cu lichid variabil, pentru încărcarea generatorului.

Sistem de monitorizare forme de undă – placă de achiziție de dată pentru vizualizare formelor de undă – tensiune de linie, tensiune de fază și tensiune redresată.,

Schema de incercare:



Verificarea tehnică generală.

Se verifică starea tehnică generală prin vizualizarea comportării din punct de vedere mecanic a generatorului, învârtindu-l până la turația de 300 rot/min. Acesta nu trebuie să prezinte jocuri sau frecări ale rulmenților, nu trebuie să prezinte mișcări oscilatorii ale rotorului în raport cu axul de susținere.

Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu, cu mașina în stare rece.

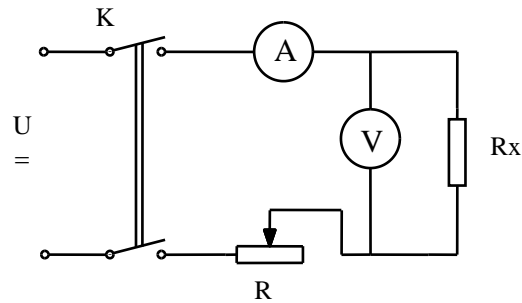
Ca metodă industrială de măsurare a rezistențelor înfășurărilor se utilizează metoda voltmetrului și ampermetrului care, în condițiile utilizării unor aparate cu clasa de precizie

corespunzătoare, asigură precizia necesară măsurării. La alegerea aparatelor pentru această metodă trebuie acordată o atenție deosebită variației indicațiilor, astfel ca acestea să fie cât se poate de reduse.

La măsurarea rezistențelor prin metoda voltmetrului și ampermetrului, pentru rezultate corecte este necesar să se respecte următoarelor condiții:

- voltmetrul se conectează direct la bornele înfășurării a cărei rezistență se măsoară;
- numărul de contacte demontabile, din circuitul de măsură, trebuie să fie cât mai redus;
- pentru măsurare, sursa de curent continuu se realizează prin utilizarea unei baterii de acumulare bine încărcată.
- citirea indicațiilor aparatelor se efectuează concomitent de către două persoane la indicația celei care citește voltmetrul deoarece indicațiile acestuia sunt de regulă mai puțin stabile decât ale ampermetrului datorită inductanței pe care o prezentau înfășurările mașinilor electrice;
- rezistența fiecărei înfășurări se măsoară pentru câteva valori diferite ale curentului, cel puțin cinci, mergând de la valori mari la valori mici ale acestuia;
- în măsurare nu se schimbă domeniul de măsurare ale aparatelor;
- pentru a evita încălzirea înfășurărilor datorită curentului de măsurare, valoarea curentului aplicat nu depășește 20% din curentul nominal al înfășurării.

Schema de măsurare a rezistențelor înfășurărilor prin metoda voltmetrului și ampermetrului este dată în figura 1



Măsurarea rezistenței înfășurărilor generatorului prin metoda ampermetrului și voltmetrului

| | | | | | | | | |
|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| U[V] | I [A] | [Ohm] | U[V] | I [A] | [Ohm] | U[V] | I [A] | [Ohm] |
|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|

| | | | | | | | | |
|----------------------|--|----------------------|--|----------------------|--|--|--|--|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| <i>Valoare medie</i> | | <i>Valoare medie</i> | | <i>Valoare medie</i> | | | | |

| | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| Rezistența Fazei AX | Rezistența Fazei BY | Rezistența Fazei CZ |
| [Ohm] | [Ohm] | [Ohm] |
| | | |

Determinarea sensului de rotație.

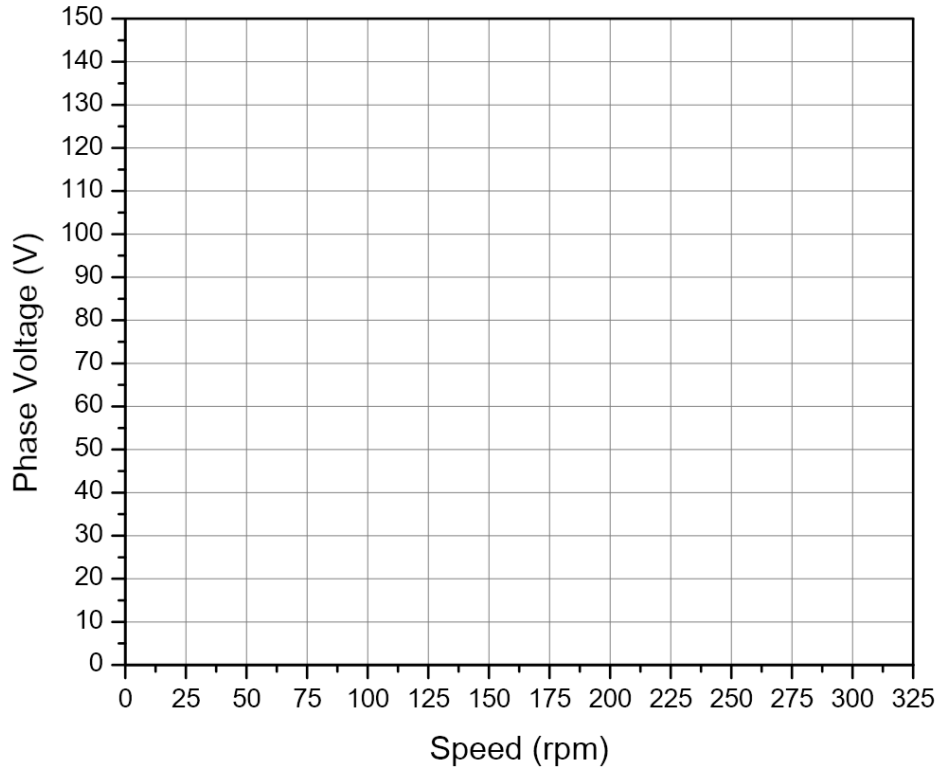
Sensul de rotație al generatorului în lucru, având în vedere că rotorul este construit cu magneti permanenți, poate fi în ambele direcții. În funcționare, antrenat de turbina eoliană, sensul de rotație va fi impus de sensul de orientare al palelor de eoliană. Astfel sensul de rotație în lucru va fi într-o singură direcție.

Ridicarea caracteristicii de funcționare în gol.

Această caracteristică reprezintă dependența dintre tensiunea indusă în funcție de viteza generatorului $E_0=f(n)$. Această caracteristică se trasează, după cum spune și numele, la sarcină nulă.

Curba ascendentă a vitezei

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| n [rot/min] | | | | | | | | | | | | | |
| E_0 [V] | | | | | | | | | | | | | |



Caracteristica de mers în gol a generatorului

Ridicarea caracteristicii externă a generatorului sincron cu magneți permanenți

Această caracteristică reprezintă dependența dintre tensiunea la borne U și curentul prin indus I , la turație constantă [$U=f(I)$ pentru $n=ct$]. Generatorul se încarcă la parametrii corespunzători serviciului nominal tip, prin scăderea valorii rezistenței de sarcină, R_s , astfel crescând curentul de sarcină I . Aceste caracteristici se trasează pentru diferite valori ale turației de lucru a generatorului rezultând astfel un familie de caracteristici externe.

Viteza generatorului: rot/min

| Nr. crt. | Turatie [rot/min] | Tensiunea de linie [V] | Tensiune redresata [V] | Curent redresat [A] | Curent de linie [A] | Puterea produsa [W] |
|----------|----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |

Viteza generatorului: rot/min

| Nr. crt. | Turatie [rot/min] | Tensiunea de linie [V] | Tensiune redresata [V] | Curent redresat [A] | Curent de linie [A] | Puterea produsa [W] |
|----------|----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |

Viteza generatorului: rot/min

| Nr. crt. | Turatie [rot/min] | Tensiunea de linie [V] | Tensiune redresata [V] | Curent redresat [A] | Curent de linie [A] | Puterea produsa [W] |
|----------|----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |

Viteza generatorului: rot/min

| Nr. crt. | Turatie [rot/min] | Tensiunea de linie [V] | Tensiune redresata [V] | Curent redresat [A] | Curent de linie [A] | Puterea produsa [W] |
|----------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |

Viteza generatorului: rot/min

| Nr. crt. | Turatie [rot/min] | Tensiunea de linie [V] | Tensiune redresata [V] | Curent redresat [A] | Curent de linie [A] | Puterea produsa [W] |
|----------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |

Viteza generatorului: rot/min

| Nr. crt. | Turatie [rot/min] | Tensiunea de linie [V] | Tensiune redresata [V] | Curent redresat [A] | Curent de linie [A] | Puterea produsa [W] |
|----------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |

Viteza generatorului: rot/min

| Nr. crt. | Turatie [rot/min] | Tensiunea de linie [V] | Tensiune redresata [V] | Curent redresat [A] | Curent de linie [A] | Puterea produsa [W] |
|----------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |

Viteza generatorului: rot/min

| Nr. crt. | Turatie [rot/min] | Tensiunea de linie [V] | Tensiune redresata [V] | Curent redresat [A] | Curent de linie [A] | Puterea produsa [W] |
|----------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |

Viteza generatorului: rot/min

| Nr. crt. | Turatie [rot/min] | Tensiunea de linie [V] | Tensiune redresata [V] | Curent redresat [A] | Curent de linie [A] | Puterea produsa [W] |
|----------|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |

Laboratorul nr. 10

Încercarea motorului asincron

Studiul regimului de funcționare în gol a mașinii asincrone

Funcționarea în gol ca motor

Regimul de funcționare în gol ca motor a mașinii asincrone corespunde situației în care înfășurarea statorului este conectată la un sistem simetric de tensiuni iar înfășurarea rotorică închisă pe ea însăși, cuplul la arbore nul și turația rotorului apropiată de cea de sincronism.

Încercarea de mers în gol a motorului asincron poate fi realizată printr-o singură metodă, prin conectarea motorului la o sursă de tensiune reglabilă și frecvență nominală. Încercarea de mers în gol trebuie precedată de încălzirea lagărelor printr-un rodaj în gol la tensiunea nominală. Determinarea caracteristicii de mers în gol se efectuează prin reducerea treptată a valorii tensiunii aplicate statorului, începând de la o valoare maximă de 130% din valoarea tensiunii nominale, până la o valoare minim posibilă. Pentru motoarele cu saturație puternică a circuitului magnetic, tensiunea maximă pentru această încercare poate fi redusă până la 110% din valoarea nominală. Limita inferioară a valorii tensiunii de încercare este dată de momentul în care cu scăderea valorii tensiunii începe să crească curentul în înfășurările statorului și rotorului. În timpul încercării, se măsoară tensiunea și curentul absorbit de stator, trasându-se caracteristica $I_0 = f(U_0)$.

Corectitudinea rezultatelor încercării depinde de calitatea tensiunii aplicate înfășurării statorului, respectiv: simetria tensiunilor de linie, forma sinusoidală a curbei de tensiune și stabilitatea frecvenței.

Nesimetria tensiunilor duce la inegalitatea curenților de linie și la creșterea pierderilor la mers în gol. Inegalitatea curenților este un indiciu al nesimetriei, deoarece inegalitatea curenților crește mai repede decât inegalitatea tensiunilor care a cauzat-o. Nesimetria curenților se poate produce și din cauze interne ale motorului: numere de spire diferite pe faze, întrefier neuniform între stator și rotor, etc.

De regulă, la încercarea motoarelor de mică putere, când limita de măsurat a aparatelor este sub 5A, este absolut necesară măsurarea curentului în toate cele trei faze și folosirea a trei wattmetre identice, chiar și la încercările de control. Se va acorda o atenție deosebită alegerii sursei pentru a nu exista armonici superioare în curba tensiunii, fapt ce ar duce la creșterea simțitoare a pierderilor. Variația frecvenței trebuie să nu depășească limitele admisibile la sistemele energetice de mare putere. Totuși oscilațiile rapide de frecvență produc oscilații ale acelor indicatoare ale aparatelor de măsurat, în special ale wattmetrelor. Măsurarea puterii absorbite la mersul în gol realizându-se la un factor de putere foarte mic, este necesară pentru controlul corectitudinii

măsurătorilor și compararea valorii factorului de putere obținut ca raportul dintre puterea activă măsurată cu wattmetrul și puterea aparentă calculată cu indicațiile voltmetrelor și ampermetrelor, cu valorile obținute din raportul indicațiilor wattmetrelor.

În urma încercării de mers în gol rezultă următoarele rezultate: tensiunea reală de linie la mersul în gol; puterea absorbită la mersul în gol; factorul de putere; pierderile în înfășurările statorului; suma pierderilor în fier și a celor mecanice; curentul real de linie la mersul în gol.

1. Tensiunea reală de linie la mersul în gol U_0 , se adoptă ca fiind media aritmetică a trei valori măsurate. În cazul în care frecvența în momentul citirii diferă de valoarea nominală, tensiunea de mers în gol se va raporta la frecvența nominală, cu relația:

$$U'_0 = \frac{f_N}{f} \cdot U_0$$

2. Puterea absorbită la mersul în gol P_0 , se adoptă ca fiind puterea P măsurată, obținută ca suma algebrică a indicațiilor celor două wattmetre din care se scade suma pierderilor din toate aparatele.

3. Factorul de putere $\cos\varphi_0$, se determină analitic cu relația:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P}{\sqrt{3}U_0I_0}$$

sau din raportul indicațiilor celor două wattmetre.

4. Pierderile în cuprul statorului p_{cul} , se calculează corespunzător conexiunii fazelor și anume:

- pentru conexiunea în stea: $p_{cul} = 3I_0^2R_0$ [W]

- pentru conexiunea în triunghi: $p_{cul} = I_0^2R_0$ [W]

unde:

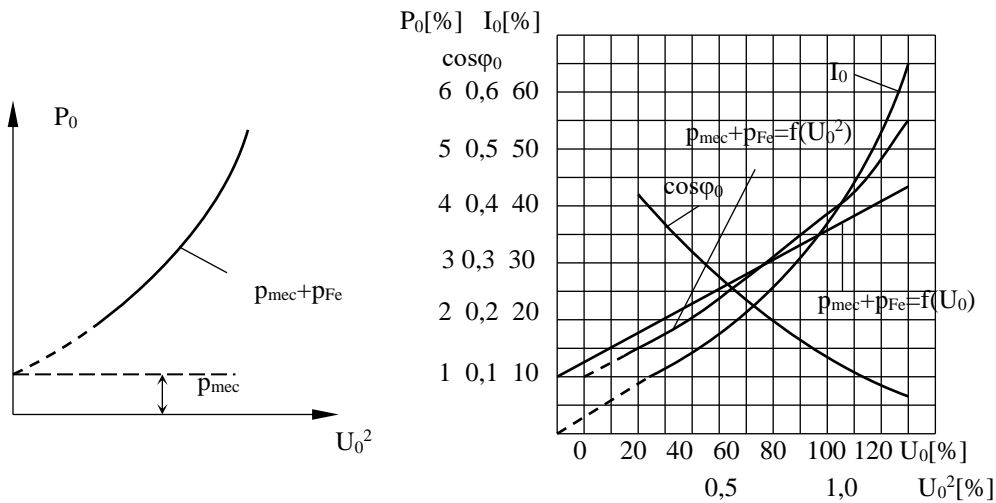
R_0 - reprezintă rezistența unei faze la temperatura de încercare (măsurată imediat după terminarea încercării). În cazul în care curentul de mers în gol depășește 70% din curentul nominal la tensiunea nominală, măsurarea rezistenței se va face după fiecare citire.

5. Suma pierderilor în fier și a pierderilor mecanice, $p_{Fe}+p_{mec}$, se obține din puterea absorbită la mersul în gol P_0 , din care se scad pierderile în cuprul statorului. Separarea pierderilor mecanice se face ca și pentru încercarea de mers în gol a celorlalte tipuri de motoare, prin trasarea caracteristicii sumei pierderilor în funcție de pătratul tensiunii $p_{Fe}+p_{mec}=f(U^2)$, și prin extrapolarea porțiunii liniare până la intersecția cu axa ordonatelor. Ordonata punctului de intersecție a curbei extrapolate reprezintă pierderile mecanice.

În cazul în care încercarea s-a făcut la o altă frecvență decât cea nominală, pierderile în fier și pierderile mecanice vor fi recalulate cu relațiile:

$$P'_{Fe} = \left(\frac{f_N}{f} \right)^{\frac{3}{2}} P_{Fe}$$

$$P'_{mec} = \left(\frac{f_N}{f} \right)^2 P_{mec}$$



6. Curentul real de linie la mersul în gol I_0 , se adoptă ca medie aritmetică a trei valori măsurate. Componenta de magnetizare I_μ a acestuia reprezintă partea pur reactivă, dată de relația:

$$I_\mu = I_0 \sin \varphi_0$$

Valorile pentru $\sin\varphi_0$ se determină ca și valorile lui $\cos\varphi_0$, fie prin calcul în baza indicațiilor aparatelor de măsurat, fie pe baza raportului indicațiilor wattmetrelor.

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0} = \frac{\sqrt{3U_0^2 I_0^2 - P^2}}{\sqrt{3}U_0 I_0}$$

Reprezentarea grafică a rezultatelor încercării la mers în gol reprezintă trasarea în funcție de tensiunea de mers în gol U_0 (sau U'_0) a următoarelor mărimi: curentul de mers în gol I_0 , pierderile la mersul în gol P_0 , (sau P'_0) și factorul de putere $\cos\varphi_0$, este dată în figura 6.8.

Pentru motoarele cu mai multe turații, încercarea de mers în gol trebuie efectuată pentru fiecare din viteze, începându-se cu viteza cea mai mare, fapt ce va permite ca trecerea la turații mai mici să nu producă o încălzire suplimentară a lagărelor.

Studiul regimului de funcționare în scurtcircuit a motorului asincron

Regimul de scurtcircuit pentru motorul asincron este obținut prin alimentarea înfășurării statorului având rotorul calat. Acest regim reproduce condițiile inițiale de pornire ale motorului, motiv pentru care permite determinarea unor mărimi caracteristice cum ar fi: curentul și cuplul inițial de pornire. Pentru realizarea încercării, se calează rotorul și se aplică înfășurării statorului un sistem simetric de tensiunii de valoare $U_N \pm 10\%$, la motoarele cu puteri sub 100 kW și o valoare aleasă astfel încât, curentul din circuit să fie de $(2,5-3,5)I_N$, la motoarele de puteri peste 100 kW.

Pentru evitarea încălzirii excesive a înfășurărilor, timpul de aplicare a tensiunii trebuie să fie de ordinul a 10 s (suficient pentru citirea aparatelor). Pentru motoarele cu mai multe viteze, încercarea la scurtcircuit se va efectua pentru fiecare conexiune a înfășurării statorului, corespunzător fiecărei turații nominale. De regulă, motoarele de putere mare și mijlocie cu rotorul bobinat nu pornesc la curentul de scurtcircuit egal cu cel nominal, motiv pentru care nu sunt necesare măsuri speciale de frânare. Motoarele cu rotorul în scurtcircuit, având caracteristici de pornire îmbunătățite (bare înalte, dublă colivie) și prezentând un cuplu important chiar la valori reduse ale curentului absorbit, necesită dispozitive speciale de frânare.

Pentru motoarele de puteri până la 100 kW, cuplul de pornire trebuie măsurat direct cu ajutorul unui dinamometru sau balanță. Deoarece cuplul dezvoltat de motorul asincron la scurtcircuit depinde de poziția rotorului față de stator, valoarea acestuia variind între două limite, maximă și minimă, se va adopta ca valoare corectă, valoarea minimă din cele măsurate. Poziția rotorului corespunzătoare acestei valori trebuie determinată în paralel, aplicând la stator o tensiune foarte redusă. Determinarea astfel a cuplului inițial poate fi făcută numai în cazul motoarelor de încercat având lagăre pe rulmenți. De asemenea, este necesar ca înainte de calare (blocare) să fie verificat sensul de rotație, pentru a nu provoca accidente în momentul pornirii, prin ruperea dispozitivului de frânare, în cazul unui sens de rotație necorespunzător. Deși, în cazul acestui regim, distribuția curenților pe faze nu depinde esențial de asimetria tensiunilor, totuși este de preferat verificarea acesteia.

În urma încercării de scurtcircuit rezultă următoarele date:

- 1. Tensiunea reală de linie la scurtcircuit U_{sc}** , adoptată ca fiind indicația voltmetrului în momentul citirii celorlalte aparate sau media aritmetică a indicațiilor voltmetrelor.
- 2. Curentul real de linie la scurtcircuit I_{sc}** , se adoptă ca media aritmetică a trei valori măsurate.
- 3. Puterea absorbită (de alimentare) la scurtcircuit P_{sc}** , se adoptă ca suma algebrică a indicațiilor celor două wattmetre.
- 4. Factorul de putere**, se va determina ca și la încercarea de mers în gol prin două moduri, cu relația:

$$\cos \varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{\sqrt{3} U_{sc} I_{sc}}$$

sau din raportul indicațiilor wattmetrelor. Factorul de putere, $\cos \varphi_{sc}$, depinde puțin de tensiune în afara părții inițiale a caracteristicii, când crește rapid cu tensiunea.

5. Pierderile din înfășurarea statorului p_{Cu1} , vor fi calculate în funcție de conexiunea fazelor statorului astfel:

- pentru conexiunea stea: $p_{Cu1} = 3I_{sc}^2 R_{\theta}$ [W];

- pentru conexiunea triunghi: $p_{Cu1} = I_{sc}^2 R_{\theta}$ [W],

unde: R_{θ} - reprezintă rezistența unei faze a statorului la temperatura din momentul citirii.

6. Pierderile din înfășurarea rotorului p_{Cu2} , rezultă din puterea absorbită de motor din rețeaua de alimentare după scăderea pierderilor în cuprul statorului p_{Cu1} și a pierderilor în fier p_{Fe} , determinate din încercarea de mers în gol la tensiunea U_{sc} .

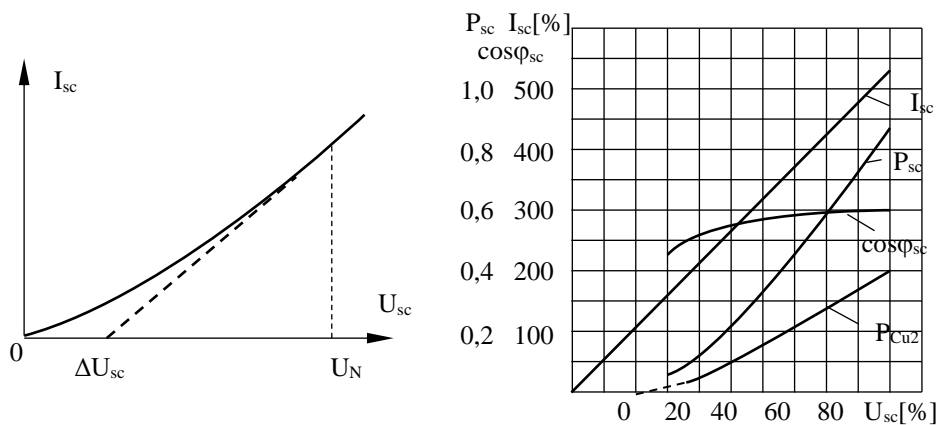
$$P_{Cu2} = P_{sc} - P_{Cu1} - P_{Fe}$$

Deoarece cuplul dezvoltat este proporțional cu pierderile în înfășurarea rotorului acesta poate fi exprimat în unități de putere, așa numiții wați sau kilowați sincroni. Transformarea în unități mecanice a cuplului se face cu relația:

$$M_{sc} = \frac{975 p_{Cu2}}{n_0} = 16,25 \frac{P \cdot p_{Cu2}}{f} \text{ [Kg}\cdot\text{f}\cdot\text{m}]$$

unde: p_{Cu2} [kW], n_0 viteza de sincronism [rot/min], f - frecvența [Hz], p -numărul de perechi de poli.

Prelucrarea rezultatelor încercării la scurtcircuit conduce la reprezentarea grafică în funcție de tensiunea de scurtcircuit a puterii absorbite P_{sc} , a curentului de scurtcircuit I_{sc} , a factorului de putere $\cos \varphi_{sc}$, a cuplului M_{sc} sau a pierderilor din înfășurarea rotorului p_{Cu2} .



Caracteristica de scurtcircuit, reprezentând dependența dintre curentul de scurtcircuit și tensiunea aplicată (figura 6.10), reprezintă, practic, o dreaptă ce pornește din origine. Pentru încercările la scurtcircuit cu tensiuni sub valoarea nominală, se vor introduce corecții pentru determinarea curentului de scurtcircuit la tensiunea nominală. Astfel, se trasează tangenta la caracteristica de scurtcircuit și se determină pe axa absciselor mărimea ΔU_{sc} .

Valoarea curentului de scurtcircuit I_{sc} , la tensiunea nominală U_N , se va determina cu relația:

$$I_{scN} = \frac{U_N - \Delta U_{sc}}{U_{sc} - \Delta U_{sc}} \cdot I_{sc}$$

unde: U_{sc} și I_{sc} - sunt valorile maxime ale tensiunii și curentului în timpul încercării.

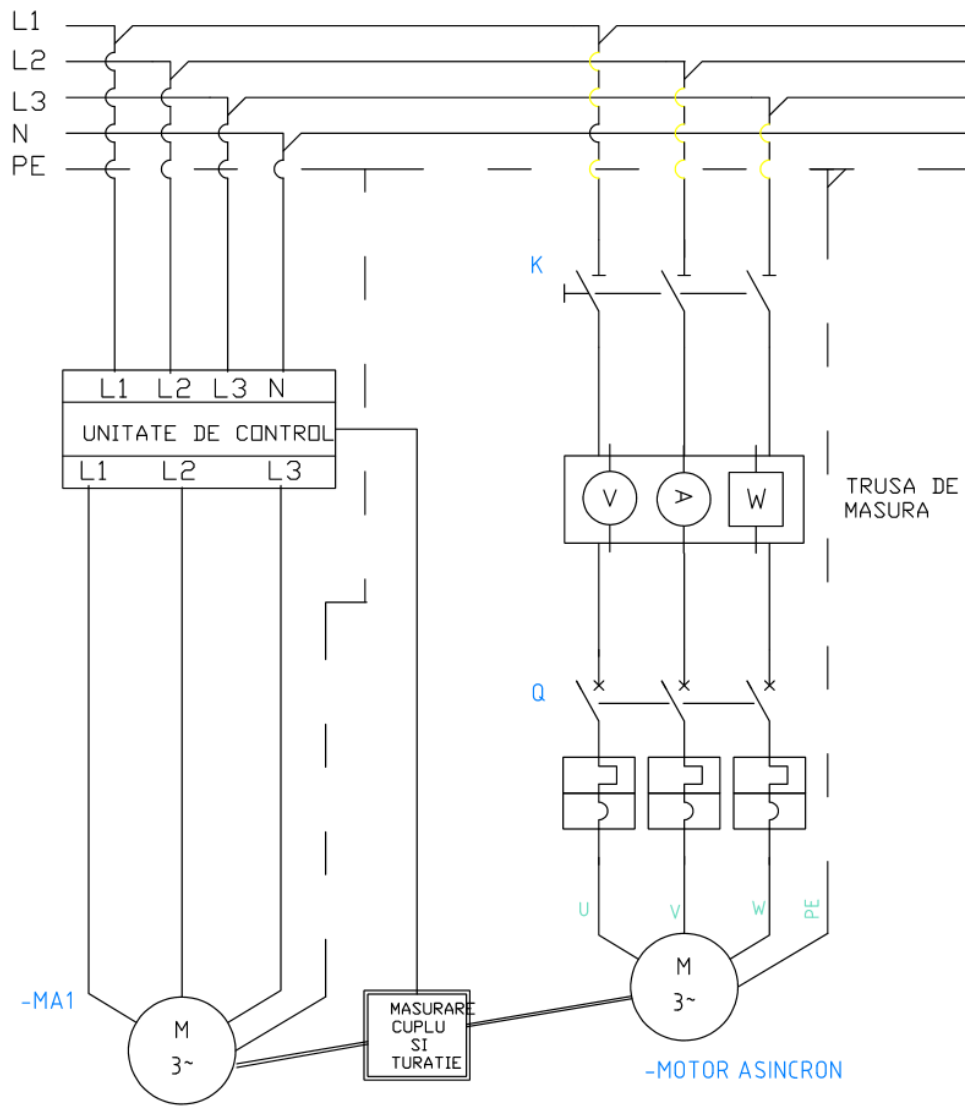
Raportul dintre I_{sc} și I_N (I_{sc} / I_N) poartă denumirea de multiplu al curentului inițial de pornire, iar valorile maxime admisibile ale acestui raport, pentru motoarele cu rotorul în scurtcircuit, sunt stabilite prin standardele sau normele specializate pe produse. Raportul dintre M_{sc} și M_N (M_{sc} / M_N) poartă denumirea de multiplu al cuplului de pornire inițial. Cele două rapoarte pot fi determinate direct prin încercarea la scurtcircuit când scurtcircuitul este produs la tensiunea nominală. În caz contrar, cuplul de pornire inițial se determină prin recalculare cu relația:

$$M_{scin} = \left(\frac{I_{scin}}{I_{sc}} \right)^2 M_{sc}$$

De regulă, pentru încercările de control nu se determină caracteristica de scurtcircuit ci se măsoară curentul și pierderile la scurtcircuit la tensiunea aplicată. Pentru motoarele cu mai multe turații, determinarea caracteristicii de scurtcircuit în cadrul încercărilor de tip sau măsurarea curentului și a pierderilor de scurtcircuit în cadrul încercărilor de control se efectuează pentru toate turațiile.

Aplicatie practica

Se vor efectua pentru un motor asincron încercarea de mers in gol si încercarea in scurtcircuit. Schema utilizata pentru realizarea încercărilor este următoarea:



Laboratorul nr. 11

Încercarea motorului asincron

Determinarea caracteristicilor de funcționare a mașinilor asincrone prin metode directe

Caracteristicile de funcționare ale motorului asincron reprezintă dependența dintre puterea cedată și o serie de mărimi caracteristice cum ar fi: puterea absorbită; curentul; alunecarea; randamentul și factorul de putere la tensiune aplicată constantă și frecvență constantă. Încercarea pentru determinarea caracteristicilor trebuie începută de la o suprasarcină de curent de 50%. În conformitate cu STAS 1893-65, motoarele trebuie să suporte această suprasarcină în stare caldă timp de 2 minute, adică un interval de timp suficient pentru efectuarea măsurătorilor, inclusiv a alunecării. Deoarece o astfel de suprasarcină nu poate fi realizată la tensiunea nominală, ea va fi făcută la o tensiune redusă, evitându-se limita opririi motorului.

Determinarea caracteristicilor se efectuează cu mașina în stare caldă, imediat după încercarea la încălzire, iar dacă nu este posibil, se va încălzi în prealabil motorul la o sarcină apropiată de cea nominală pentru ca temperatura înfășurărilor statorului și rotorului să se stabilizeze. Astfel, este rațional a se face încercarea plecând de la sarcini mai mari spre sarcini mai mici, prin realizarea succesivă a diferitelor sarcini în limite de la suprasarcină de minimum 10% peste cea nominală până la mersul în gol.

Rezultatele încercării de determinare prin metoda directă a caracteristicilor de funcționare vor fi prelucrate și interpretate după cum urmează:

- 1. Tensiunea de linie U aplicată**, se adoptă ca media aritmetică celor trei valori măsurate.
- 2. Curentul de linie I al rețelei de alimentare**, absorbit de motor, va fi dat de asemenea, de media aritmetică a celor trei valori măsurate.
- 3. Puterea absorbită sau consumată P_1** , va fi puterea măsurată, obținută ca suma algebrică a indicațiilor a două wattmetre din care se va scădea dacă este necesar, suma pierderilor tuturor aparatelor.
- 4. Factorul de putere $\cos\varphi$** , determinat de asemenea, cu relația:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U \cdot I}$$

sau din raportul indicațiilor celor două wattmetre;

- 6. Pierderile din înfășurarea statorului p_{Cu1}** , se determină ca și la încercările de mers în gol și scurtcircuit, utilizând rezistențele de fază R_0 pentru cele două conexiuni ale fazelor și anume:

- pentru conexiunea stea: $p_{Cu1} = 3I_{sc}^2 R_{\theta}$ [W]

- pentru conexiunea triunghi: $p_{Cu1} = I_{sc}^2 R_{\theta}$ [W]

Pentru R_{θ} se va considera rezistența de fază recalculată la temperatura convențională în conformitate cu clasa de izolație a înfășurării;

7. Pierderile în fier p_{Fe} , fiind constante, se vor considera cele determinate la încercarea de mers în gol;

8. Puterea electromagnetică P_{em} , reprezintă puterea transmisă de câmpul învârtitor de la stator la rotor și se determină prin calcul ca fiind diferența dintre puterea absorbită și pierderile din stator:

$$P_{em} = P_1 - p_{Cu1} - p_{Fe} \quad [W]$$

9. Pierderile în înfășurarea rotorului, se vor determina ca produsul dintre alunecarea s și puterea electromagnetică P_{em} :

$$p_{Cu2} = \frac{P_{em} \cdot s}{100}$$

10. Pierderile mecanice p_{mec} , fiind constante, se vor considera cele determinate din încercarea de mers în gol;

11. Pierderile suplimentare p_s , vor fi determinate conform STAS 1893-65, la puterea nominală (se adoptă ca fiind 0,5% din puterea absorbită).

12. Puterea utilă sau cedată P_2 , se determină ca diferența dintre puterea absorbită și suma tuturor pierderilor menționate:

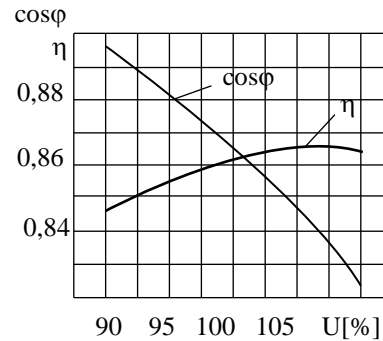
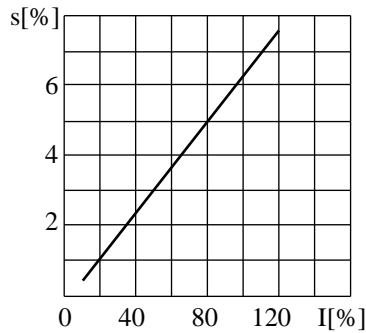
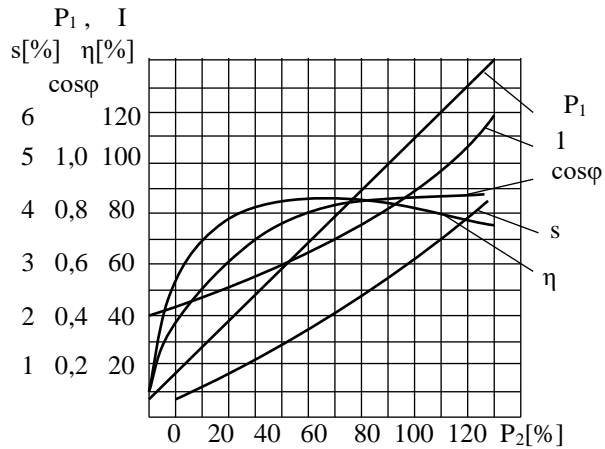
$$P_2 = P_1 - p_{Cu1} - p_{Cu2} - p_{mec} - p_s \quad [W]$$

Randamentul η se calculează în baza definiției, în procente, cu relația:

$$\eta = \left(1 - \frac{\sum P}{P_1} \right) 100 \quad [\%]$$

Cu aceste date, vor fi trasate caracteristicile de funcționare în sarcină conform figurilor de mai jos. Deoarece precizia determinării alunecării este relativ redusă, se recomandă verificarea corectitudinii determinării alunecării prin construirea curbei de variație a valorilor măsurate ale acesteia, în funcție de curentul absorbit. Astfel, valorile alunecării ce se abat mult de la această curbă pot fi corectate în baza acestei construcții. Adeseori, pentru verificarea alegerii corecte a datelor de calcul ale mașinii, este necesară determinarea caracteristicilor de funcționare și la alte tensiuni decât valoarea nominală, atât pentru valori mai mari cât și pentru valori mai mici față de

aceasta. Valorile mărimilor principale, corespunzătoare puterii nominale, se vor alege din aceste caracteristici și se reprezintă în funcție de tensiune. Astfel de curbe (în primul rând randament și factor de putere), poartă denumirea generală de curbe de tensiune.

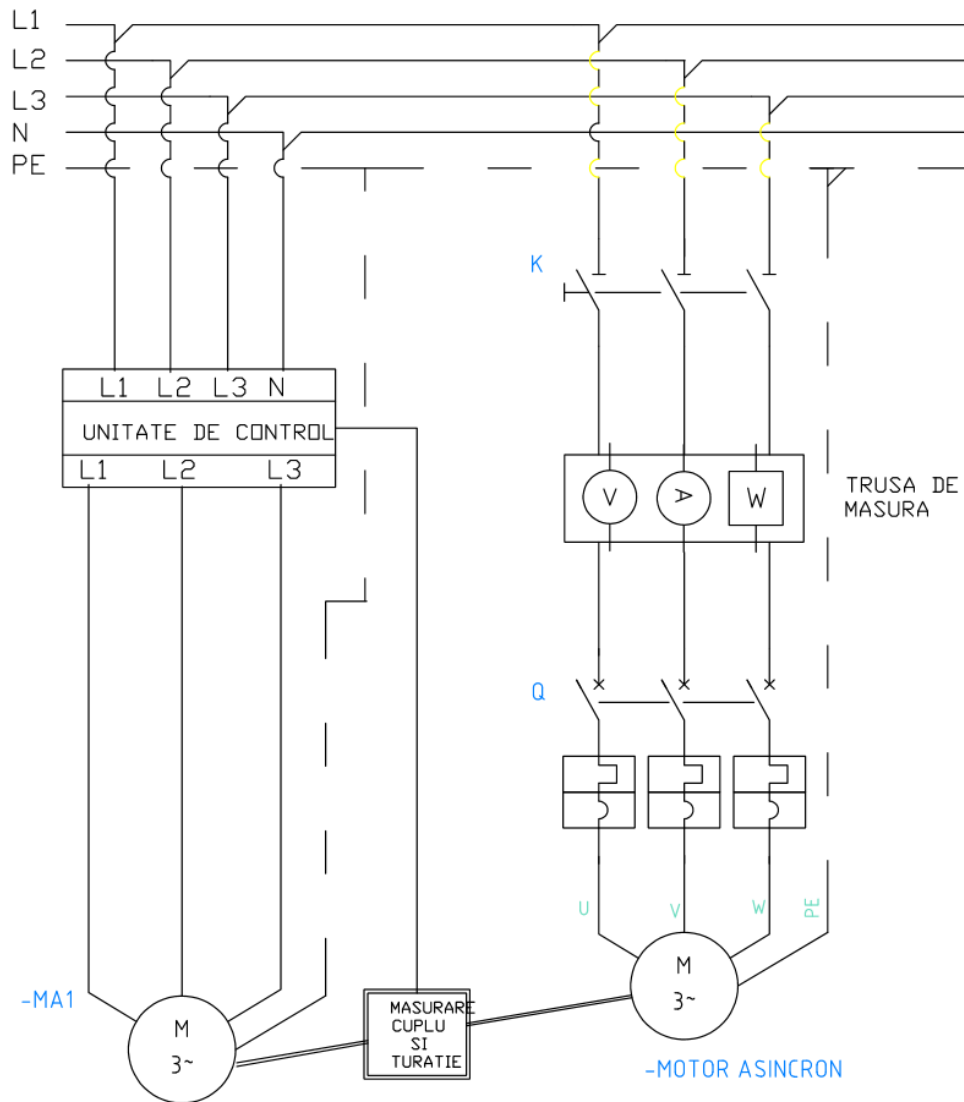


Caracteristicile de funcționare ale motorului asincron

Verificarea valorilor garantate ale η , $\cos\phi$ și s se va realiza, pentru motoarele cu puteri de până la 100 kW, prin determinare grafică din caracteristicile de funcționare. Pentru motoarele de puteri mai mari, când determinarea caracteristicilor de funcționare în sarcină necesită prezența unui echipament de mare putere, se va admite verificarea valorilor garantate pentru η , \cos și s , cu ajutorul metodei indirecte, utilizând diagrama cercului.

Aplicatie practică

Se vor trasa caracteristicile de funcționare pentru un motor asincron încercat utilizând schema de încercare prezentă în figura următoare.



Schema de încercare în sarcină a unui motor asincron trifazat cu rotor în scurtcircuit.

Laboratorul nr. 12

Mașina sincronă - Studiul regimului de funcționare în sarcină la parametri nominali

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

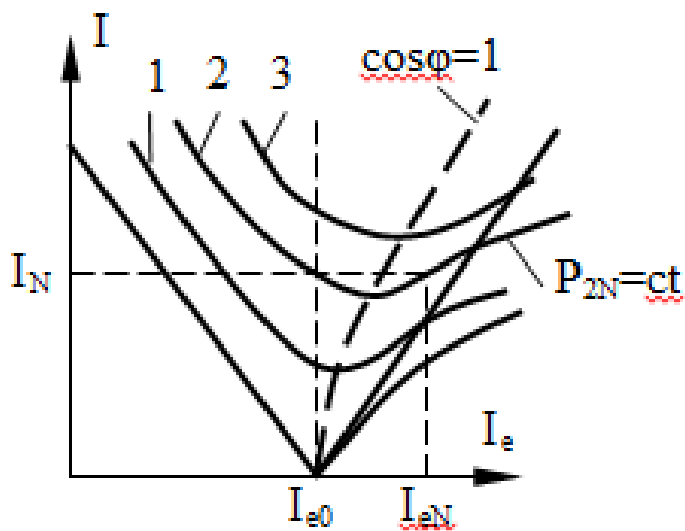
Determinarea curentului nominal de excitație

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

Metode directe de determinare a curentului nominal de excitație

1. Metoda încărcării în serviciul nominal tip Mașina sincronă se conectează la rețea și se aduce la parametri nominali: tensiune, frecvență, curent de sarcină și factor de putere, corespunzători serviciului nominal tip. Valoarea curentului de excitație care asigură parametri nominali menționați, reprezintă valoarea sa nominală.

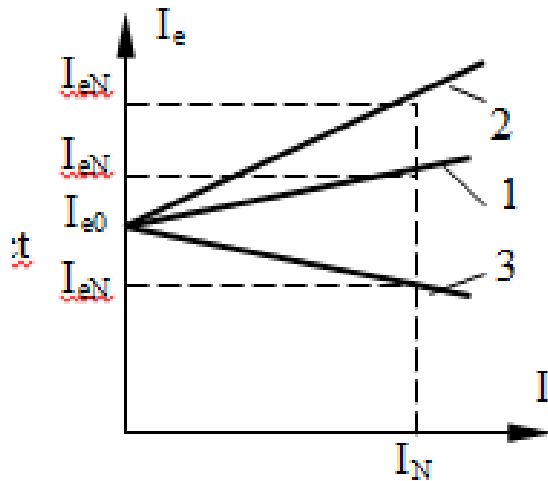
2. Metoda caracteristicilor în "V" Curbele în "V" reprezintă dependența dintre curentul I din indus și curentul I_e de excitație, $I=f(I_e)$, la tensiune și frecvență constante cât și putere utilă constantă pentru generatoare respectiv, cuplu util constant pentru motoare [$I=f(I_e)$ la $U=ct.$, $f=ct.$, $P_2=ct.$ sau $M_2=ct.$]. Pentru determinarea experimentală a acestor caracteristici, se conectează mașina sincronă la rețea și se aduce la regimul impus din punct de vedere al tensiunii, frecvenței, puterii, precum și al sensului de circulație a energiei, reglând în aceste condiții valoarea corespunzătoare a curentului de excitație. În timpul încercării, ce se realizează distinct pentru sarcină inductivă și capacitivă, se măsoară curentul prin înfășurarea indusului și curentul de excitație (tensiunea, frecvența, puterea și cuplul fiind constante), trasându-se grafic dependența $I=f(I_e)$. Se vor trasa mai multe caracteristici, din care una corespunzătoare puterii sau cuplului nominal, figura 5.8.



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

Caracteristici în V determinate pe cale experimentală

3. Metoda caracteristicilor de reglaj

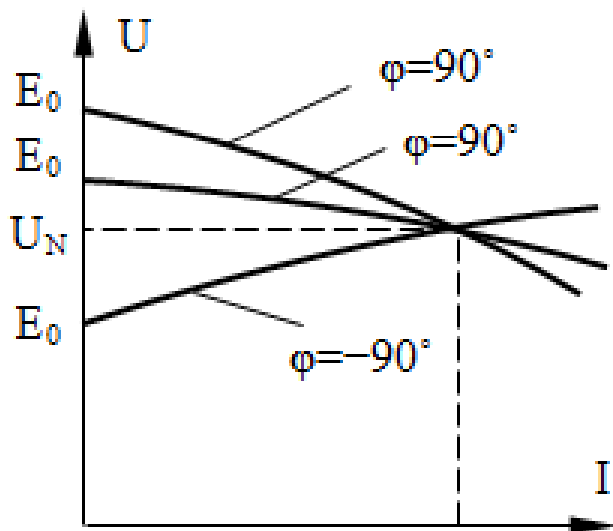


Caracteristici de reglaj

În timpul încercării se măsoară tensiunea, curentul, puterea, frecvența, respectiv curentul și tensiunea din circuitul de excitație, după care se reprezintă caracteristicile $I_e=f(I)$, distinct pentru sarcină pur activă, inductivă și capacitivă, curbele 1, 2 respectiv 3 din figura alăturată. Din aceste caracteristici pentru I_N și $\cos \varphi_N$ se determină valoarea nominală a curentului de excitație I_{eN} .

Caracteristicile de reglaj reprezintă dependența dintre curentul de excitație și cel de sarcină la tensiune, frecvență, factor de putere constante, la valorile lor nominale [$I_e=f(I)$ la $U_N=ct$, $f_N=ct.$, $\cos \varphi_N=ct.$]. Determinarea experimentală a acestor caracteristici se realizează conectând mașina la rețea și menținând constante mărimile menționate, pentru diverse valori ale curentului de sarcină și de excitație. Mașina sincronă poate funcționa în aceste condiții în unul din regimurile corespunzătoare de motor, generator sau

4. Metoda caracteristicilor externe



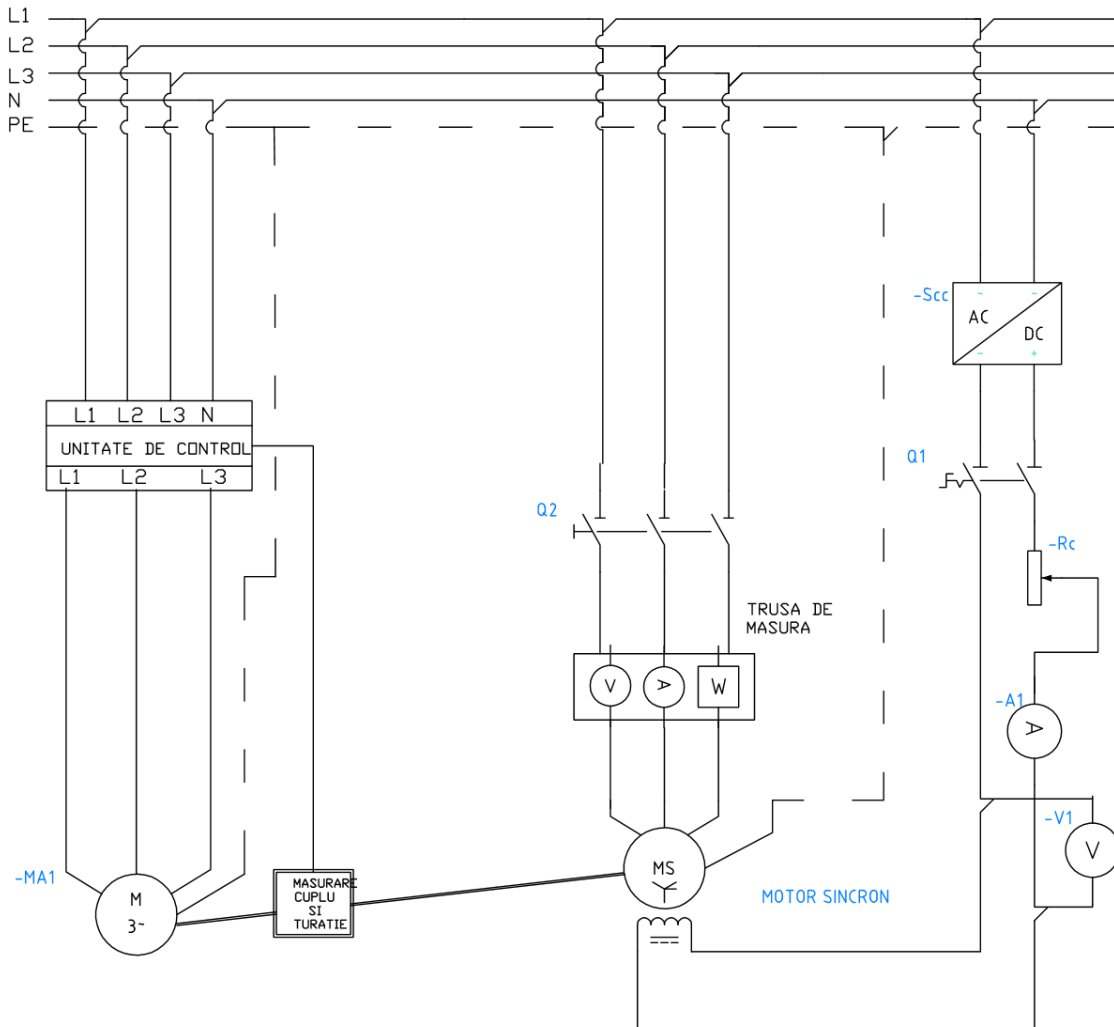
Caracteristici de sarcină determinate în funcție de tipul de sarcină

nominală a curentului de excitație. Menținând constantă valoarea nominală a curentului de excitație și factorul de putere, se modifică, prin intermediul sarcinii, valoarea curentului de sarcină, măsurându-se tensiunea la borne, curentul de sarcină și celelalte mărimi electrice. Cu datele obținute în condițiile menționate, se trasează dependențele $U=f(I)$ pentru trei tipuri de sarcină.

Caracteristicile externe reprezintă dependența dintre tensiunea la bornele indusului și curentul respectiv, pentru frecvență, factor de putere și curent de excitație constante [$U=f(I)$ pentru $f=ct.$, $\cos\varphi=ct.$, $I_e=ct.$] și se ridică pentru funcționarea mașinii sincrone în regim de generator sincron autonom. Generatorul sincron se aduce la parametri săi nominali: tensiune, frecvență, curent, factor de putere ($U=U_N$, $f=f_N$, $I=I_N$, $\cos\varphi=\cos\varphi_N$), parametri asigurați de valoarea

Aplicație practică

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



Standul de încercare în sarcină a motor sincron

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

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

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