

ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



Structura cursului

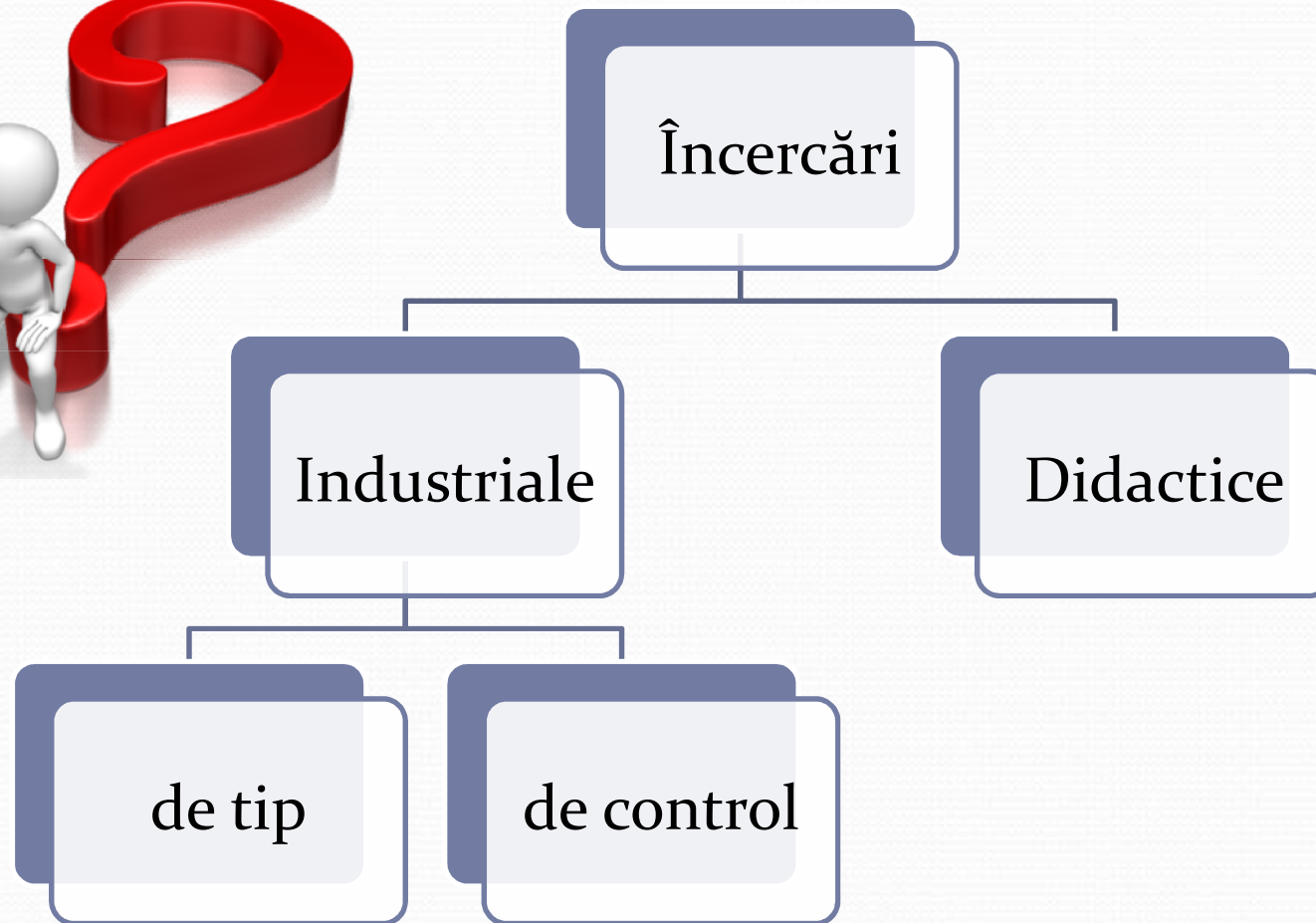
- CONSIDERAȚII PRIVIND ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE
- ÎNCERCĂRI COMUNE MAȘINILOR ELECTRICE
- ÎNCERCĂRILE TRANSFORMATOARELOR
- ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR DE CURENT CONTINUU
- ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR SINCRONE
- ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ASINCRONE

CONSIDERAȚII PRIVIND ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE



- Caracterul și scopul încercării mașinilor electrice
- Metode de încercare a mașinilor electrice
- Calculul aparatelor de măsură, reglaj și control
- Interpretarea datelor de pe plăcuța indicatoare a mașinii
- Aparate și accesorii ale schemelor electrice de montaj
- Reguli pentru realizarea schemei electrice de montaj
- Standarde și condiții tehnice
- Regulamentul de funcționare a laboratorului de încercări ale mașinilor electrice și norme de tehnica securității muncii

Caracterul și scopul încercării mașinilor electrice



Încercările de tip

Încercările de tip au drept scop stabilirea concordanței tipului respectiv de mașină cu cerințele standardelor după care a fost proiectată și stabilirea caracteristicilor și parametrilor mașinii din punct de vedere al întrebuințării ei practice.



Acestea se efectuează:

- ori de câte ori se realizează un nou tip de mașina,
- după fiecare modificare importantă introdusă în construcție sau în procesul tehnologic de fabricație,
- precum și în cazurile când se constată abateri repetate față de încercările de control.

În cazul seriilor de mașini cu mai multe puteri pe turație (respectiv număr diferit de poli în cadrul aceluiași gabarit), concluziile rezultate în urma efectuării încercărilor de tip, asupra mașinii cu putere mai mare, pot fi extinse asupra mașinii cu putere mai mică.



Încercările de control (de lot)

Încercările de control (de lot) se fac, de regulă, asupra fiecărei mașini construite cuprinzând un număr mai redus de încercări față de programul celor de tip și urmăresc să stabilească dacă mașina corespunde standardelor după care a fost construită.

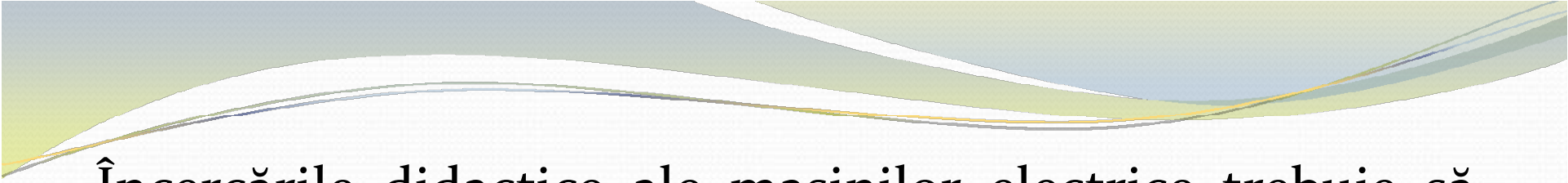
Acestea se execută în fabrica constructoare asupra fiecărui exemplar de mașină produsă. În cazuri bine justificate, la producții de serie mare, pentru unii parametri, se admite, la încercările de lot, și verificarea prin control statistic.



Încercările didactice

Încercările didactice ale mașinilor electrice au loc în laboratoare speciale, reprezentând un factor important de pregătire a specialiștilor în domeniul mașinilor electrice. Acestea au drept scop verificarea experimentală a anumitor probleme din teoria mașinilor electrice legate de testarea și funcționarea lor.





Încercările didactice ale mașinilor electrice trebuie să satisfacă o serie de condiții și anume:

- stabilirea încercării programate, cunoașterea metodei aplicate și existența aparaturii necesare;
- cunoașterea temeinică a modului de lucru și a programului detaliat al încercării;
- realizarea corectă și verificarea schemei electrice necesare efectuării încercării;
- evidențierea momentelor principale ale încercării și aspectele fizice ale fenomenelor ce intervin;
- prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute cât și aprecierea în baza acestora a încercării respective.

Metode de încercare a mașinilor electrice

Principial, încercarea mașinilor electrice se poate realiza prin două metode:

- a) **metoda directă**, în care mărimea căutată este determinată pe cale directă;
- b) **metoda indirectă**, în care determinarea unei mărimi se face în mod indirect.



Calculul aparatelor de măsură, reglaj și control



Pentru încercările experimentale, alegerea aparatelor de măsură, control și reglaj trebuie să se facă corespunzător funcționării mașinilor electrice și transformatoarelor în limitele nominale de tensiune, curent, viteză, etc.



Interpretarea datelor de pe plăcuța indicatoare a mașinii

- a) mașina de curent continuu:

P_n [kW]; U_n [V]; I_n [A];

n_n [rot/min]; η_n [%];

- b) mașina sincronă:

S_n [kVA]; U_n [V]; I_n [A]; $\cos\phi$;

f_n [Hz]; n_n [ro/min]; η_n [%];

- c) mașina asincronă:

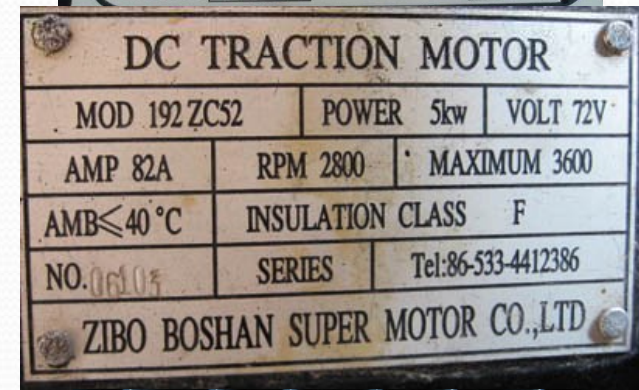
P_n [kW]; U_n [V]; I_n [A]; $\cos\phi$;

f_{ln} [Hz]; n_n [rot/min]; η_n [%];

- d) transformatoare:


S_n [kVA]; U_{1n} [V]; U_{2n} [V]; I_{1n} [A];

I_{2n} [A]; η_n [%]; f_n [Hz];



Puterea nominală, corespunde condițiilor normale de funcționare ale mașinii și reprezintă:

- pentru *generatoarele de curent continuu*: puterea electrică la bornele mașinii exprimată în wați [W], kilowați [kW] sau megawați [MW];
- pentru *generatoarele de curent alternativ*: puterea electrică aparentă la bornele mașinii, exprimată în volți-amperi [VA], kilovolți-amperi [kVA] sau megavolți-amperi [MVA];
- pentru *motoare*: puterea mecanică utilă la arbore, exprimată în wați [W], kilowați [kW] sau megawați [MW];
- pentru *compensatoarele sincrone și asincrone*: puterea reactivă la bornele compensatorului, exprimată în vari [VAR], kilovari [kVAR] sau megavari [MVAR].




Tensiunea nominală a mașini reprezintă tensiunea sub care funcționează mașina în regimul ei nominal de lucru.

- pentru *sistemul monofazat* se înțelege valoarea efectivă a tensiunii,
- pentru *sistemul trifazat* valoarea efectivă a tensiunii între două faze (tensiunea efectivă de linie).

Curentul nominal al mașinii reprezintă curentul corespunzător regimului nominal de lucru al mașinii.

La mașinile de curent continuu, curentul nominal reprezintă curentul total absorbit inclusiv curentul de excitație (pentru motoare), sau valoarea curentului furnizat (pentru generatoare).

- 
- **Tensiunea nominală de excitație** a unei mașini cu excitație independentă reprezintă valoarea tensiunii nominale a sursei de la care se obține excitația.
 - **Tensiunea nominală de excitație** a unei mașini sincrone reprezintă tensiunea la inelele colectoare, pentru curentul nominal de excitație a mașinii, la temperatura standard de lucru a înfășurării de excitație.
 - **Curentul de excitație nominal** este curentul de excitație ce corespunde regimului nominal de funcționare.

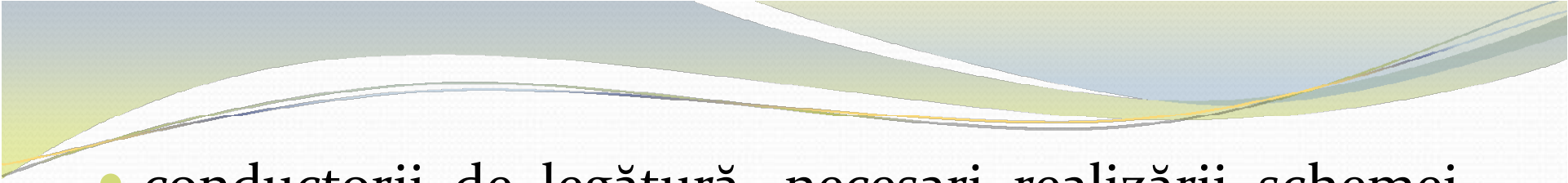
Aparate și accesorii ale schemelor electrice de montaj

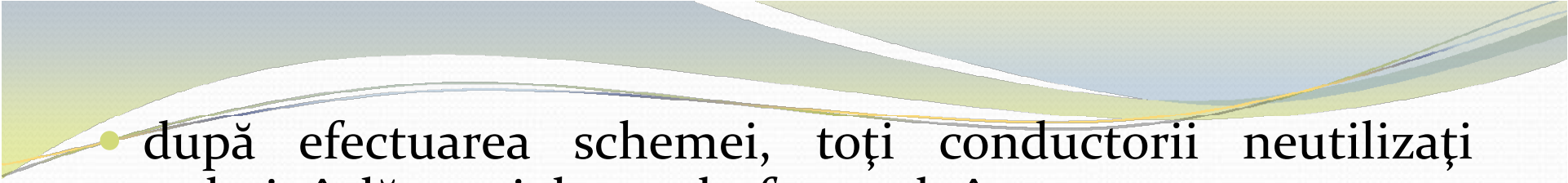
În schemele electrice de montaj necesare încercării mașinilor, în afară de cele enumerate anterior, mai intră o serie de accesorii și aparate fiecare având un rol foarte bine determinat în procesul încercării cum ar fi:

- siguranțe fuzibile, întrerupătoare, inversoare;
- aparate de comandă, de reglaj și de încărcare, reostate de pornire și reglaj, dispozitive de încărcare și de frânare;
- aparate de măsură și control: ampermetre, voltmetre, tahometre, etc.

Reguli pentru realizarea schemei electrice de montaj

- alegerea dispozitivelor de protecție (siguranțe), a aparatelor de măsură, control, reglaj să se facă pe baza datelor citite pe plăcuța indicatoare;
- să se verifice starea întrerupătorului (cuțitele întrerupătorului deschis să fie pe poziția corespunzătoare și să nu închidă accidental circuitul sub acțiunea greutății sale);
- siguranțele fuzibile se vor plasa astfel încât să se evite o eventuală rănire în cazul arderii lor;

- 
- conductorii de legătură, necesari realizării schemei, trebuie aleși de secțiuni corespunzătoare curenților ce îi străbat;
 - se recomandă o verificare atentă, înainte de începerea montajului, a integrității izolației fiecărui conductor utilizat în schemă precum și a continuității conductorului propriu-zis;
 - la executarea schemei trebuie urmărit ca izolația la capetele conductorilor să fie bine asigurată și să se realizeze un contact sigur între conductor și borne;
 - înainte de cuplare, conductorii trebuie dispuși astfel încât să nu poată fi antrenati de părțile în mișcare ale mașinii;

- 
- după efectuarea schemei, toți conductorii neutilizați trebuie înlăturați de pe platforma de încercare;
 - aparatele de măsurat se vor așeza într-o ordine determinată de plasarea mașinilor pe platformă;
 - acele indicatoare ale aparatelor de măsură trebuie aduse la zero;
 - aparatele electrice de măsurat vor fi așezate într-o poziție (orizontală, verticală sau înclinată) conform indicațiilor înscrise pe acestea;
 - înainte de montarea reostatelor uscate în schemă, acestea vor fi verificate atent pentru a nu avea întreruperi și dacă pe toată lungimea reostatului contactul dintre cursor și spirele rezistenței este satisfăcător.
 - în ceea ce privește reostatele cu lichid, acestea se vor manevra cu atenție evitându-se plasarea feței în zona de apariție a aburilor fierbinți.

ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



Standarde și condiții tehnice

- În general, o mașină electrică poate fi considerată de bună calitate, din punct de vedere al exploatarei, dacă satisface o serie de cerințe prevăzute în **standardele în vigoare**.
- De asemenea, există o serie de cazuri ce impun mașinii electrice condiții suplimentare, prescrise în **condițiile tehnice**.



Standarde pentru transformatoarele electrice

- **Generalități**

- puterea nominală de cel puțin 1kVA (monofazate) sau 5 kVA (polifazate)

- **Condiții de funcționare**

- altitudinea maximum 1000 m.
- temperatura fluidului de răcire:
 - temperatura apei la intrare 25°C ;
 - temperatura aerului max. 40°C și min -35°C (transformatoare pentru exterior), sau min. -15°C (transformatoare pentru interior).
- tensiunea de alimentare trebuie să fie sinusoidală.

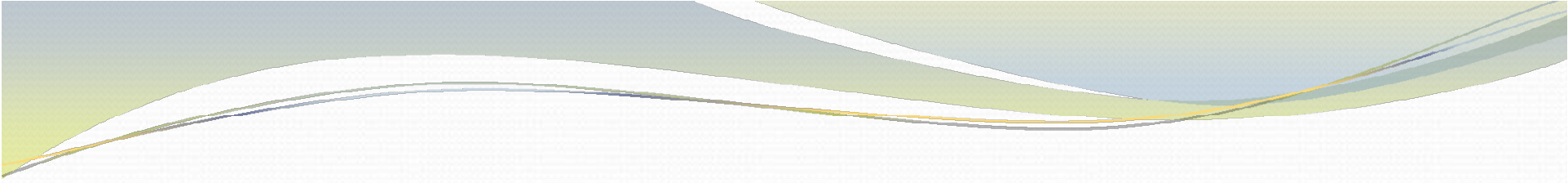


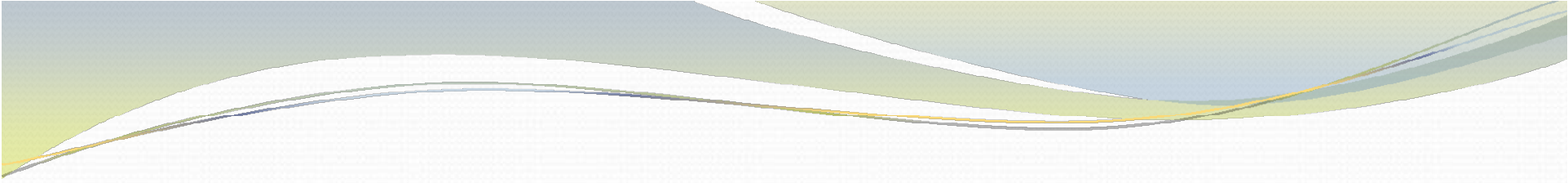
- **Regimul nominal**

- Valorile nominale sunt acelea pentru care transformatorul poate să furnizeze un curent egal cu curentul său nominal, în condiții de sarcină continuă, fără a depăși limitele de încălzire specificate în STAS 1703/2-80 (alimentarea fiind la tensiune și frecvență nominale), transformatorul fiind montat în condiții normale de instalare și răcire.

- **Regimuri de suprasarcină**


- Pentru transformatoarele de putere de cel mult 100MVA se admit suprasarcini ocazionale care ating 1,5 ori valoarea nominală.
- Transformatorul trebuie să poată debita curentul nominal când este alimentat cu 105% din tensiunea nominală a înfășurării.

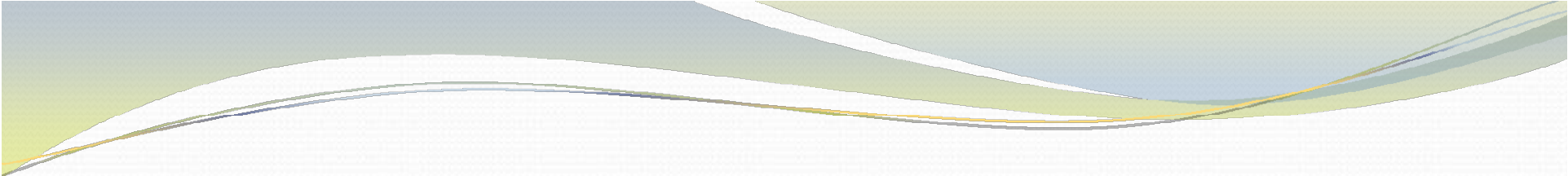
- 
- **Încălzirea conform STAS 1703/2-80.**
 - **Niveluri de izolație conform STAS 1703/3-80**
 - **Prize și conexiuni conform STAS 1703/4-80**
 - **Stabilitatea la scurtcircuit conform STAS 1703/5-80**
 - **Alte condiții**
 - Dimensionarea conexiunii punctului neutru.
 - Declanșarea sarcinii la transformatorul legat direct la generator
 - Declanșarea sistemelor de răcire forțată
 - Abateri limită de la valorile garantate

- 
- **Reguli și metode pentru verificarea calității**
 - **Marcare, documente, indicatori de fiabilitate, garanții**
 - Fiecare transformator trebuie să fie prevăzut cu o placă indicatoare rezistentă la intemperii, fixată într-un loc vizibil
 - La livrare transformatoarele vor fi însoțite de documentul de certificare a calității, întocmit conform legislației în vigoare precum și de instrucțiunile de transport, montaj, instalare, întreținere și exploatare.

Standarde române

- STAS 10381/1-76 Transformatoare. Terminologie generală.
- STAS 10381/2-76 Transformatoare. Subansambluri și părți componente. Terminologie.
- STAS 10381/3-76 Transformatoare. Mărimi caracteristice. Terminologie.
- STAS 10381/4-76 Transformatoare. Funcționare, caracteristici, încercări. Terminologie.
- STAS 1703/1-80 Transformatoare de putere. Condiții tehnice generale de calitate.
- STAS 1703/2-80 Transformatoare de putere. Încălzirea.
- STAS 1703/3-80 Transformatoare de putere. Niveluri de izolație și încercări dielectrice.
- STAS 1703/4-80 Transformatoare de putere. Prize și conexiuni.
- STAS 1703/5-80 Transformatoare de putere. Stabilitatea la scurtcircuit.
- STAS 1703/6-77 Transformatoare de putere. Metode de măsurare a nivelului de zgomot.

- 
- STAS 1703/7-80 Transformatoare de putere. Metode de încercare.
 - STAS 440/1-90 Transformatoare trifazate de putere, în ulei, 16...1600kVA și 6...20kV. Condiții tehnice de calitate.
 - STAS 440/2-90 Transformatoare trifazate de putere, în ulei, 2,5...6,3MVA și 10...35kV. Condiții tehnice de calitate.
 - STAS 440/3-90 Transformatoare trifazate de putere, în ulei, 10...63MVA și 20...110kV. Condiții tehnice de calitate.
 - STAS 4001-65 Transformatoare de putere de la 25 ...1600kVA și până la 35kV. Gabarite și distanțe între roți.
 - STAS 5680-81 Transformatoare, autotransformatoare, reglatoare de inducție, transformatoare de măsură și transductoare. Grade de protecție asigurate prin carcasă.
 - STAS 11381/17-89 Transformatoare și bobine de reactanță- Semne convenționale pentru scheme electrice.
 - STAS 8242-68 Transformatoare de putere. Metode de încercare a releului de gaze.

- 
- STAS 8242-87 Relee de gaze. Condiții tehnice generale.
 - STAS 3532-73 Transformatoare mici. Condiții tehnice generale de calitate.
 - STAS 7615-73 Transformatoare mici de siguranță. Condiții tehnice generale de calitate.
 - STAS 2689-84 Transformatoare pentru sudare cu arc electric. Condiții tehnice generale.
 - STAS 10942-84 Transformatoare pentru mașini de sudat electric prin presiune. Condiții tehnice generale.
 - STAS 2689-84 Transformatoare pentru sudare cu arc electric. Condiții tehnice generale.
 - STAS 11426-89 Transformatoare de putere în ulei. Luarea probelor de gaz și ulei pentru analiza gazelor libere și dizolvate și a conținutului de apă.
 - STAS 811/83 Uleiuri electroizolante Tr. 30.
 - STAS 10130/75 Uleiuri electroizolante ET 10.

Standarde europene adoptate ca standarde române

- SR EN 60076-1+A11: 2001 Transformatoare de putere. Partea 1: Generalități
- SR EN 60551+A1: 1999 Determinarea nivelurilor de zgomot ale transformatoarelor și bobinelor de reactanță.
- SR EN 60599: 2001 Echipamente electrice în serviciu impregnate cu ulei mineral. Ghid pentru interpretarea analizei gazelor dizolvate și a gazelor libere.
- SR EN 60742: 1998 Transformatoare de separare a circuitelor și transformatoarelor de securitate. Prescripții.
- SR EN 61558-1+A1: 2000 Securitatea transformatoarelor, blocurilor de alimentare și analoage. Partea 1: Prescripții generale și încercări.
- SR EN 61558-2-2: 2001 Securitatea transformatoarelor, blocurilor de alimentare și analoage. Partea 2-2: Prescripții particulare pentru transformatoarele de comandă.



Standarde internaționale adoptate ca standarde române

- SR CEI 60050 (421): 1999 Vocabular electrotehnic internațional 421: Transformatoare de putere și bobine de reactanță.
- SR CEI 60296+A1: 2000 Specificații pentru uleiuri minerale electroizolante neutilizate pentru transformatoare și aparataj de conexiune.

Norme, regulamente și instrucțiuni pentru transformatoare

- Normativ de încercări și măsurători la echipamente și instalații electrice- PE 116/94 (extras).
- Regulament de exploatare tehnică a echipamentelor electrice din distribuția primară- PE 126/82 (extras)
- Instrucțiune elaborată de ICEMENERG, cu privire la interpretarea funcționării releelor de gaze în transformatoarele de putere din exploatare, la verificarea corectitudinii montării releului de gaze și a stării sale de funcționare.
- Regulament de exploatare tehnică a uleiurilor electroizolante –PE 129/1991.
- Instrucțiune tehnologică privind aditivarea uleiurilor din transformatoarele de distribuție aflate în exploatare (extras din PE 129/81).
- Stabilirea influenței suprafețelor metalice asupra calității uleiurilor din transformator (extras din lucrarea Nr. 5394/77 elaborată de ICEMENERG).



Standarde pentru mașinile electrice rotative

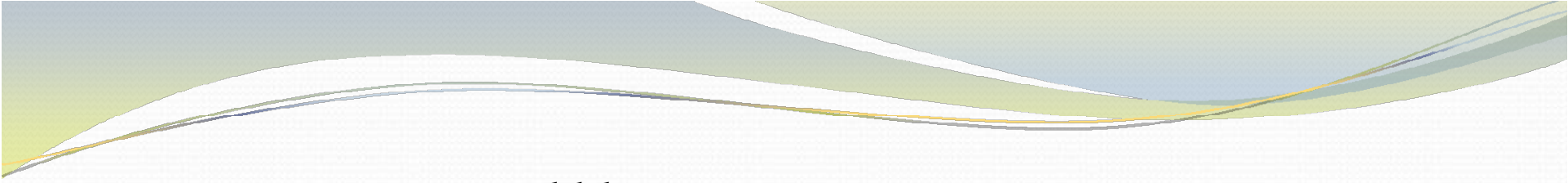
- **Generalități**

- se aplică tuturor mașinilor electrice rotative cu puteri mai mari de 50W (sau 50VA).
- pentru mașinile de curent alternativ se consideră puterea echivalentă raportată la frecvența de 50 Hz.
- nu se aplică în general pentru mașinile electrice utilizate în tracțiune sau destinate funcționării în condiții speciale.



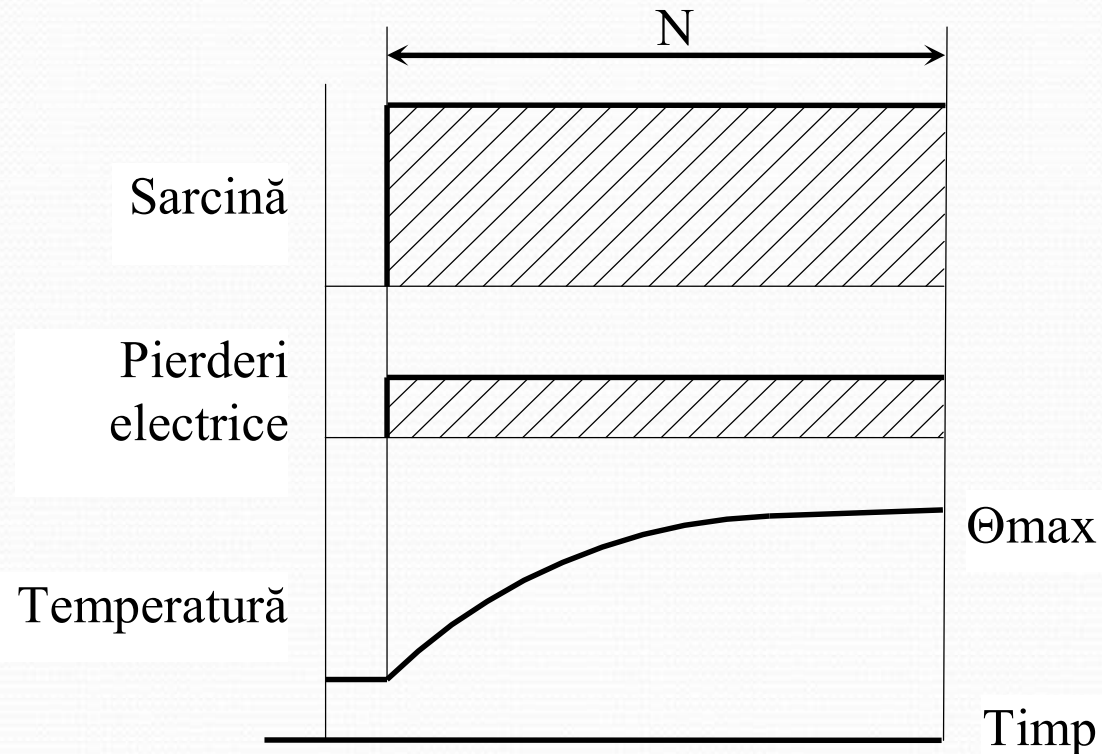
- **Terminologie specifică**

- Caracteristici nominale.
- Valoarea nominală.
- Puterea nominală.
- Sarcină.
- Funcționare în gol.
- Plină sarcină.
- Putere în plină sarcină.
- Repaus.
- Serviciu.
- Serviciu tip.
- Echilibru termic.
- Durata de acționare relativă.
- Cuplu cu rotorul blocat

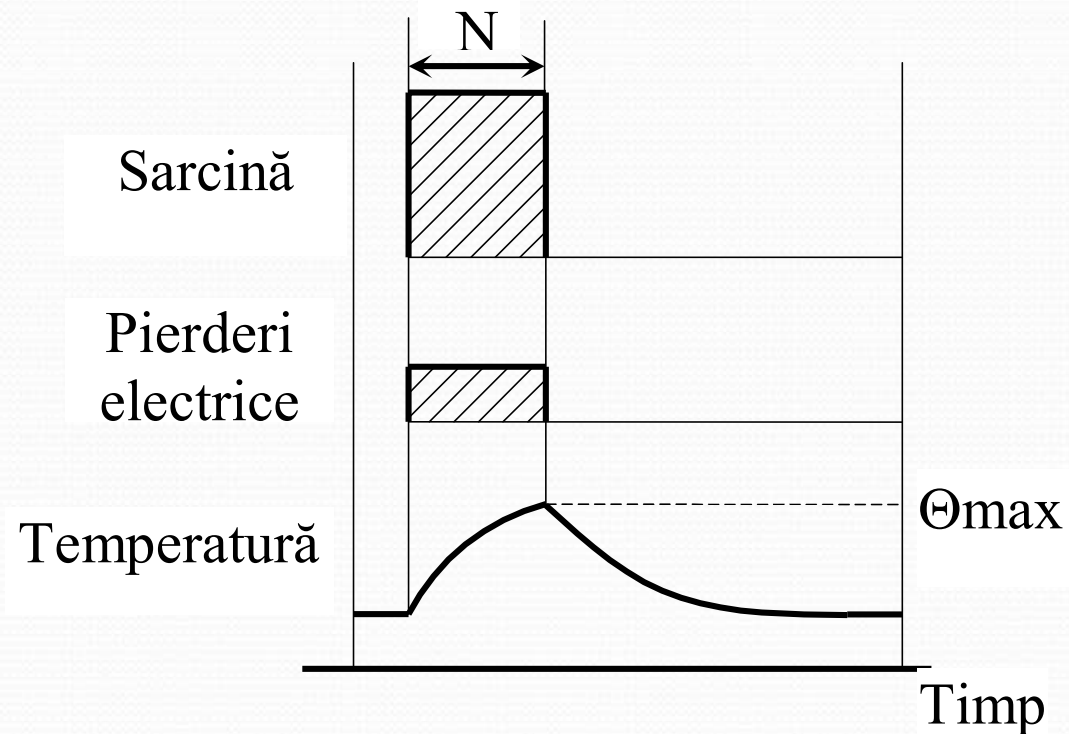
- 
- Curent cu rotorul blocat.
 - Cuplul minim în timpul pornirii
 - Cuplu maxim
 - Cuplu de desprindere sincronă.
 - Răcire.
 - Fluid de răcire.
 - Fluid de răcire primar
 - Fluid de răcire secundar.
 - Înfășurare cu răcire directă
 - Înfășurare cu răcire indirectă.
 - Izolație suplimentară
 - Moment de inerție.
 - Constanta de timp termică echivalentă
 - Înfășurare înglobată.

- **Servicii și caracteristici nominale**

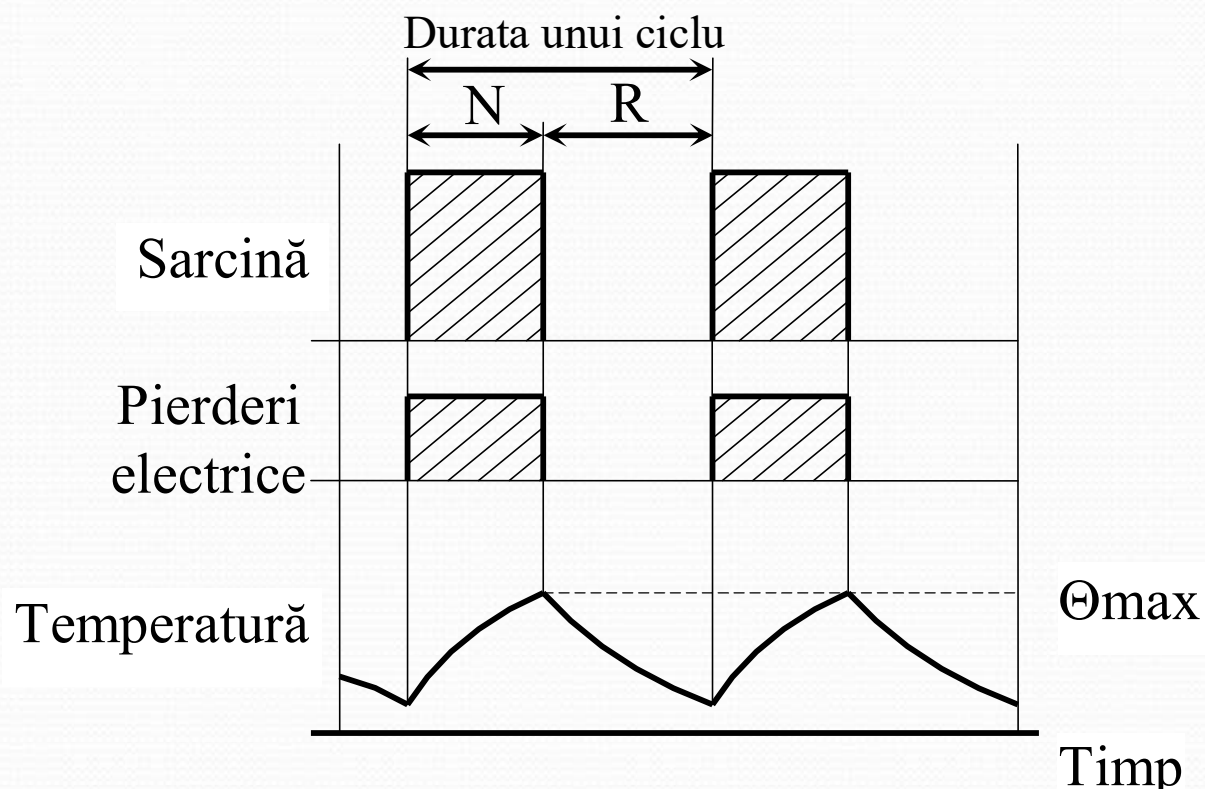
- *Serviciu continuu. Serviciu tip S1.* Funcționarea la sarcină constantă de durată suficientă pentru atingerea echilibrului termic



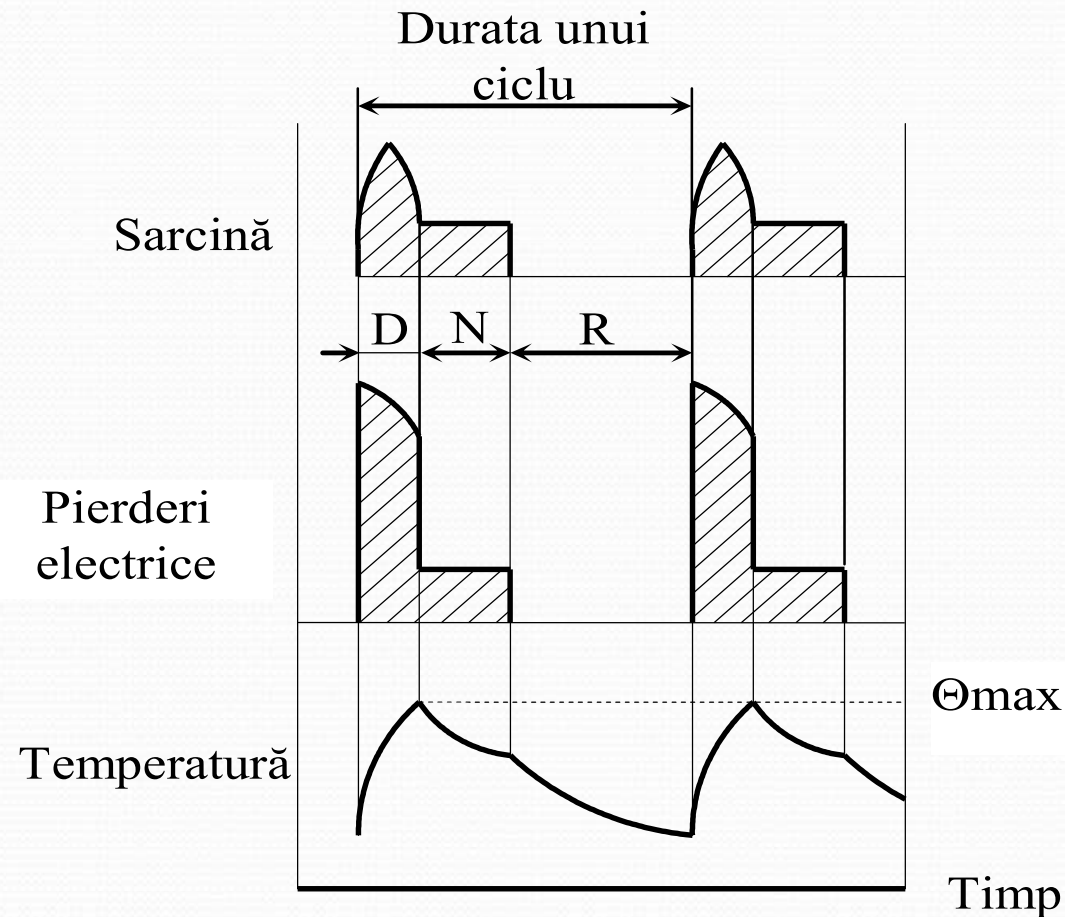
- *Serviciu temporar. Serviciu tip S2.* Funcționarea în sarcină constantă pe o durată de timp determinată, mai mică decât cea necesară pentru atingerea echilibrului termic, urmată de o perioadă de repaus de durată suficientă pentru restabilirea cu aproximație de 2 K a egalității de temperatură între mașină și fluidul de răcire



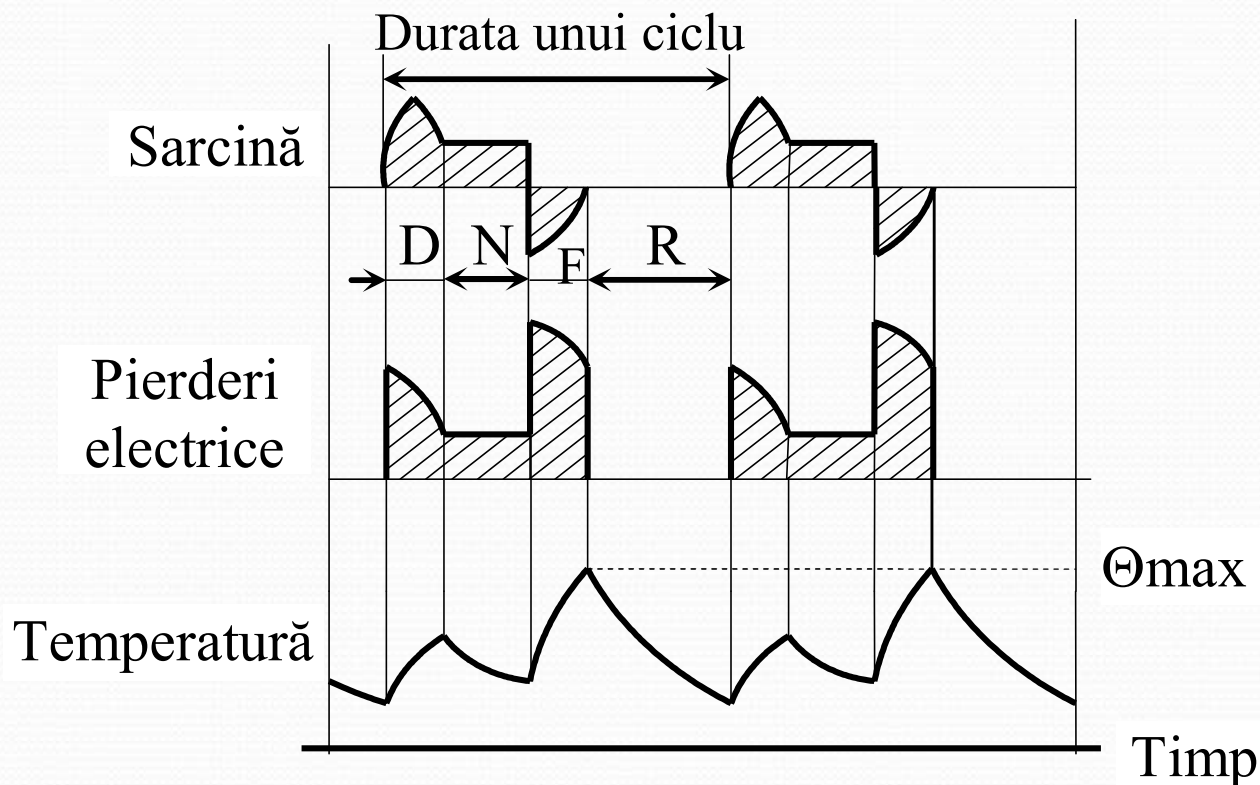
- *Serviciul intermitent periodic. Serviciul tip S₃. Suită de cicluri de serviciu identice cuprinzând fiecare o perioadă de funcționare la sarcină constantă și o perioadă de repaus. În acest serviciu ciclul este de așa natură încât curentul de pornire nu afectează în mod semnificativ încălzirea*



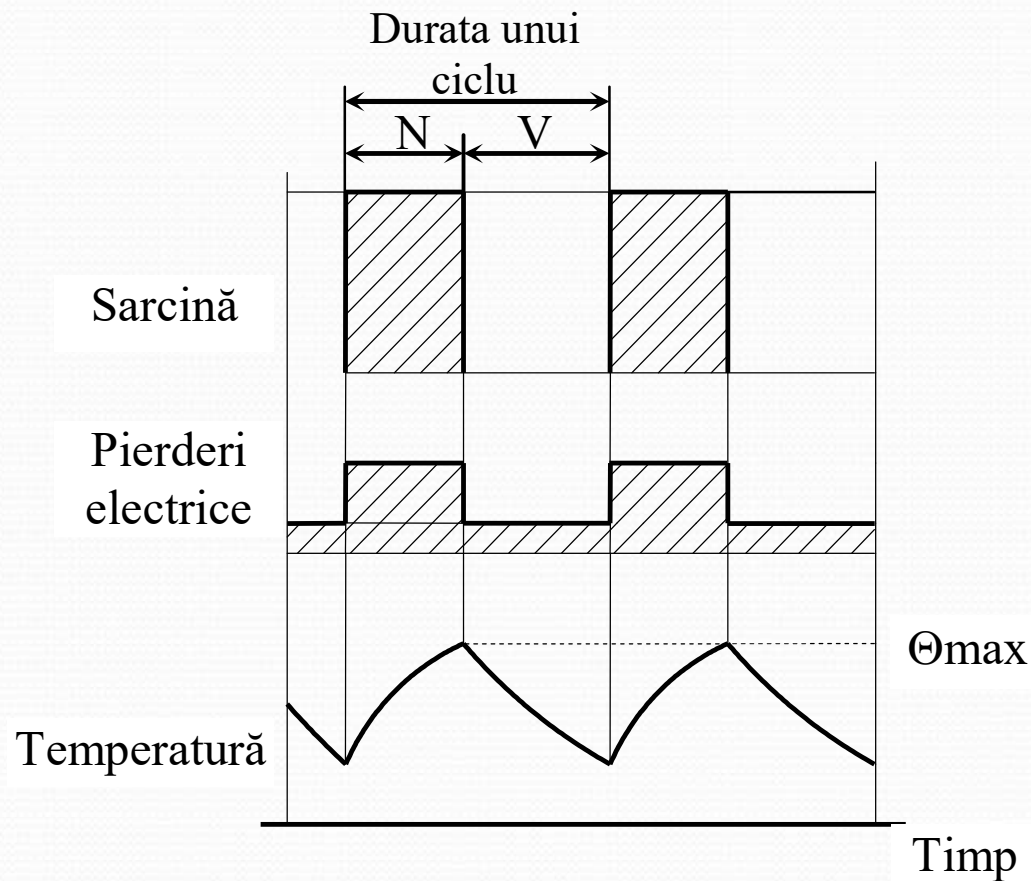
- *Serviciul intermitent periodic cu pornire. Serviciu tip S₄.* Suită de cicluri de serviciu identice cuprinzând o perioadă de pornire de durată apreciabilă, o perioadă de funcționare în sarcină constantă și o perioadă de repaus



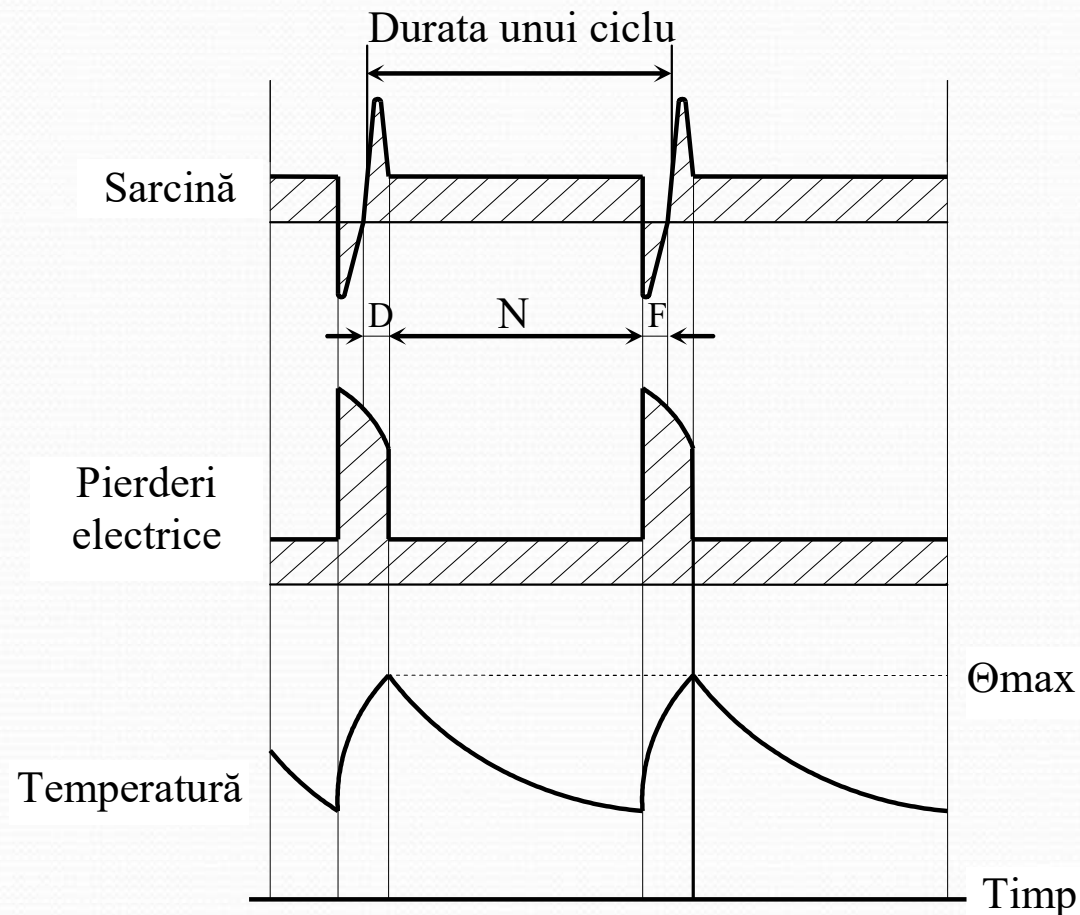
- *Serviciul intermitent periodic cu frânare electrică. Serviciu tip S5.* Suită de cicluri de serviciu identice cuprinzând fiecare o perioadă de pornire, o perioadă de funcționare în sarcină constantă, o perioadă de frânare electrică rapidă și o perioadă de repaus



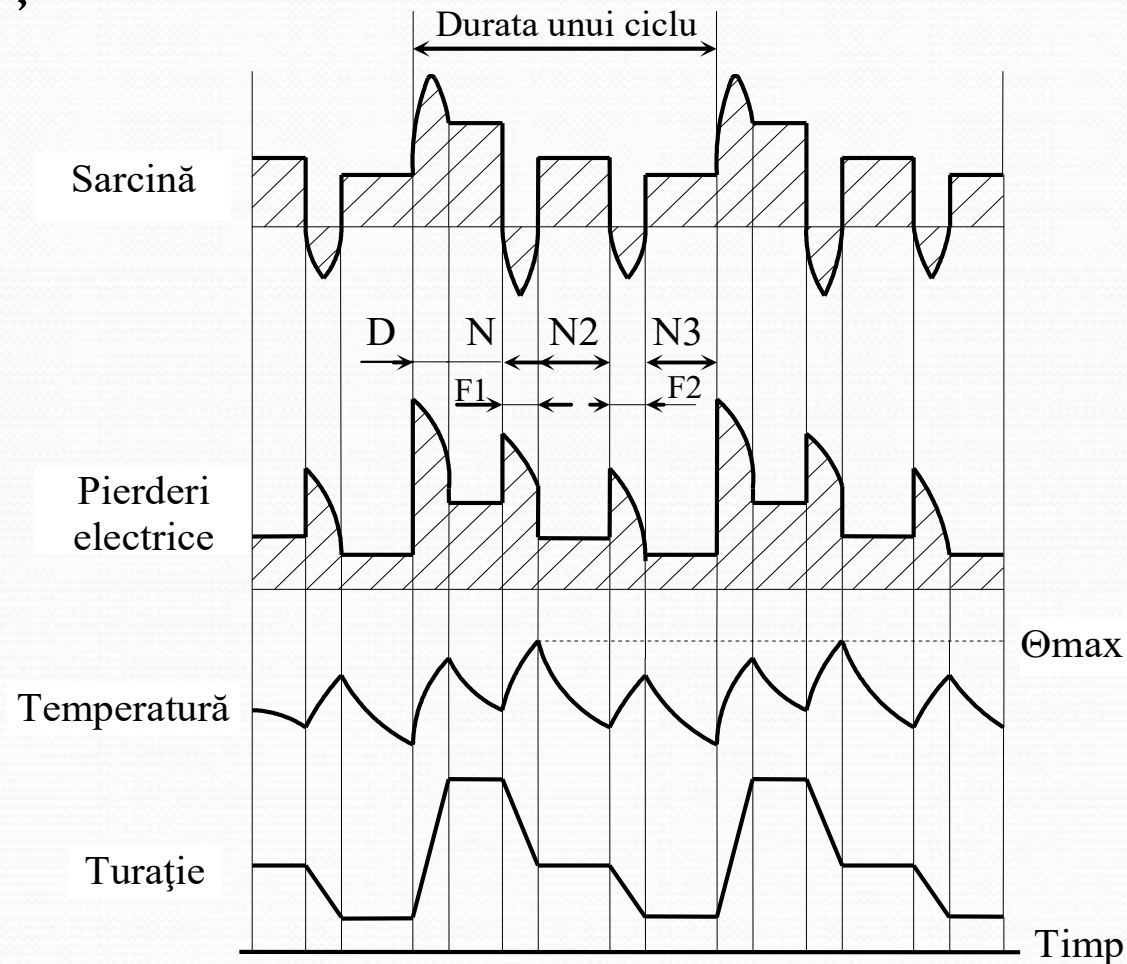
- *Serviciu neîntrerupt periodic cu sarcină intermitentă. Serviciu tip S6. Suită de cicluri de serviciu identice cuprinzând fiecare o perioadă de funcționare în sarcină constantă și o perioadă de funcționare în gol, fără perioadă de repaus*



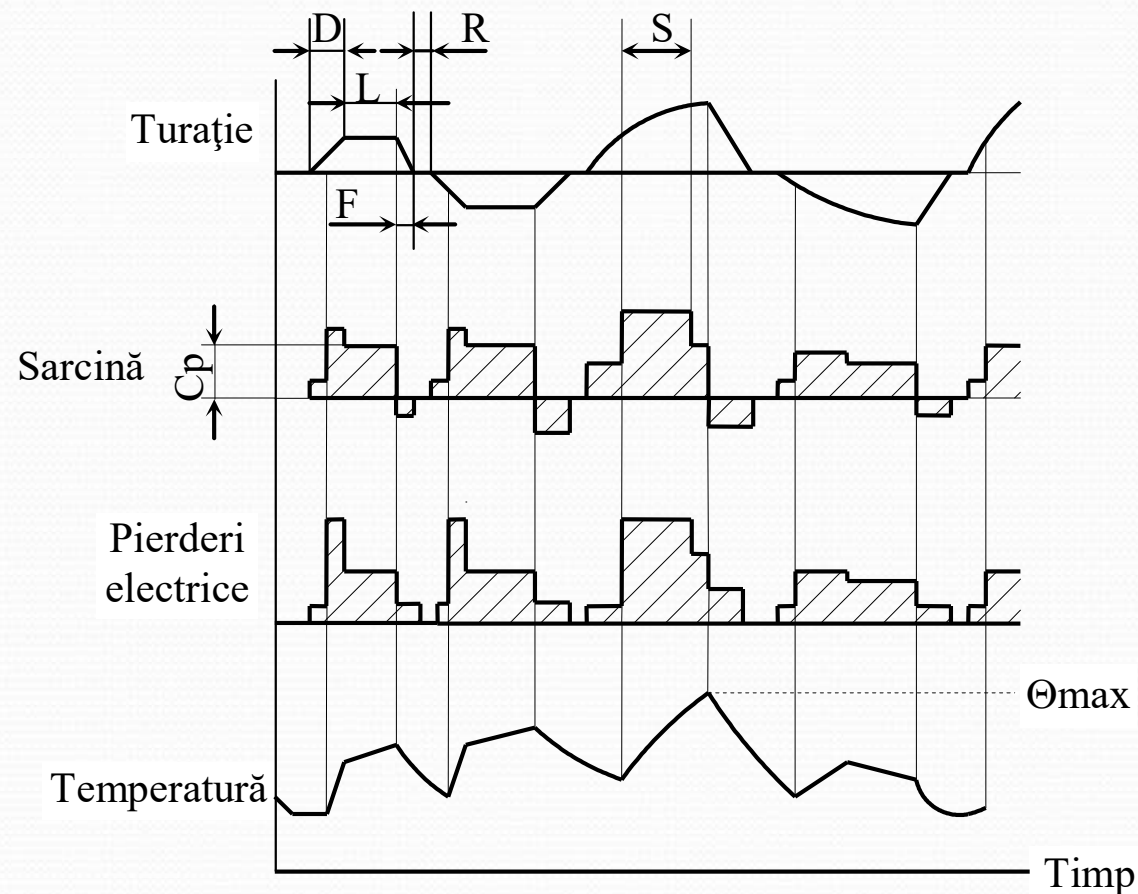
- *Serviciu neîntrerupt periodic cu frânare electrică. Serviciu tip S7. Suită de cicluri de serviciu identice cuprinzând fiecare o perioadă de pornire, o perioadă de funcționare în sarcină constantă și o perioadă de frânare electrică, fără perioadă de repaus*



- *Serviciu neîntrerupt periodic cu modificări corelate cu sarcină și turație. Serviciu tip S8. Suită de cicluri de serviciu identice cuprinzând fiecare o perioadă de accelerare, o perioadă de funcționare în sarcină constantă, urmată de una sau mai multe perioade de funcționare la alte sarcini constante corespunzând la diferite turații*



- *Serviciu cu variații neperiodice de sarcină și turație. Serviciu tip S9.* Serviciu la care sarcina și turația au, în general, o variație neperiodică în plaja de funcționare admisibilă. Acest serviciu include frecvent suprasarcini aplicate care pot fi mult superioare valorilor de plină sarcină





- **Condiții de funcționare.**

- *Altitudine.* Altitudinea maximă se stabilește la 1000 m peste nivelul mării.
- *Temperatura ambientă și temperatura fluidului de răcire.* Temperatura aerului este supusă variațiilor sezoniere, dar nu depășește 40°C. Temperatura apei la intrarea în schimbătorul de căldură nu trebuie să depășească 25°C. Temperatura minimă a aerului este de -15°C
- *Umiditatea relativă a aerului.* Umiditatea relativă a aerului este de max. 80% la temperatura de 20°C.

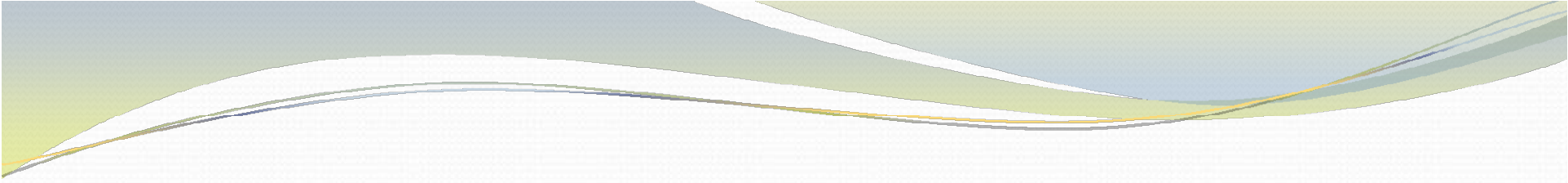
● Caracteristici diverse.

- *Suprasarcina ocazională de curent.*
 - Generatoarele sincrone a căror putere nominală este mai mică sau egală cu 1200 MVA trebuie să reziste timp de 30 s la un curent egal cu de 1,5 ori curentul nominal.
 - Generatoarele sincrone a căror putere nominală este mai mare de 1200 MVA trebuie să reziste la un curent egal cu de 1,5 ori curentul nominal, pe o durată de timp de cel puțin 15 s.
 - Motoarele trifazate de curent alternativ a căror putere nominală este mai mică sau egală cu 315 kW și a căror tensiune nominală este mai mică sau egală cu 1kV trebuie să reziste la un curent de 1,5 ori curentul nominal, timp de cel puțin 2 min.
 - Motoarele și generatoarele de curent continuu și motoarele de curent alternativ cu colector trebuie să reziste timp de cel puțin 1 min. la un curent egal cu de 1,5 ori curentul nominal, la turația cea mai ridicată la plină excitație (turația nominală a unui generator) și la tensiunea indusului corespunzătoare.



- *Suprasarcină de cuplu la motoare.*

- Motoarele trebuie să reziste, indiferent de tipul de serviciu și de construcția lor, fără să se caleze și fără să-și schimbe brusc turația timp de 15 s la o suprasarcină de cuplu de 60% din cuplu nominal, tensiunea și frecvența (la motoarele asincrone) fiind menținute la valorile nominale.
- Pentru motoarele de curent continuu suprasarcina de cuplu poate fi exprimată în funcție de supracurent.
- Motoarele sincrone polifazate trebuie să reziste, în funcție de tipul constructiv, indiferent de tipul de serviciu, timp de 15 s la o suprasarcină de cuplu specificată fără a ieși din sincronism, excitația fiind menținută la valoarea corespunzătoare sarcinii nominale.

- 
- *Cuplul minim în timpul pornirii.*

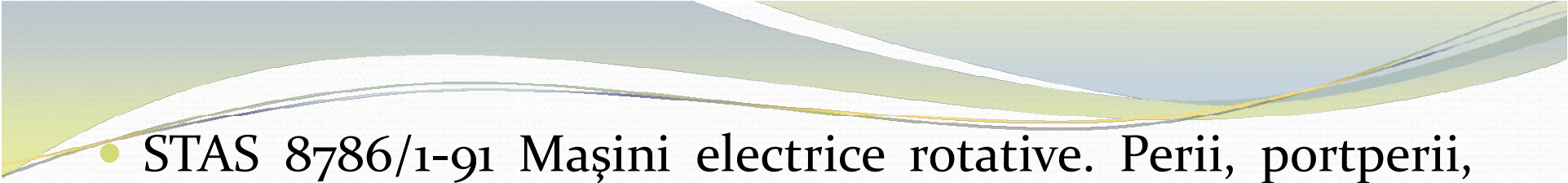
Valoarea acestuia este fixată astfel: motoare trifazate cu o singură turație 0,5 din cuplul nominal, dar cel puțin 0,5 din cuplul inițial de pornire; motoare trifazate cu mai multe turații și motoare monofazate 0,3 din cuplul nominal.


- *Curentul de scurtcircuit.*

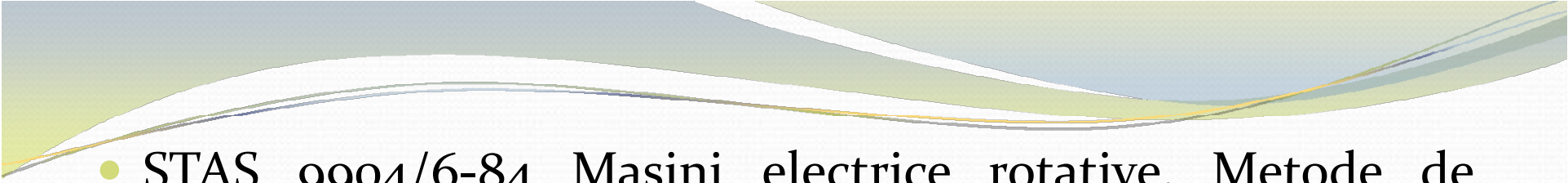
Valoarea de vârf a curentului de scurtcircuit al mașinilor sincrone, în caz de scurtcircuit pe toate fazele, nu trebuie să depășească de 15 ori valoarea de vârf și de 21 ori valoarea efectivă a curentului nominal. Verificarea poate fi efectuată prin calcul sau prin încercare la o tensiune egală cu cel puțin 50% din valoarea tensiunii nominale.

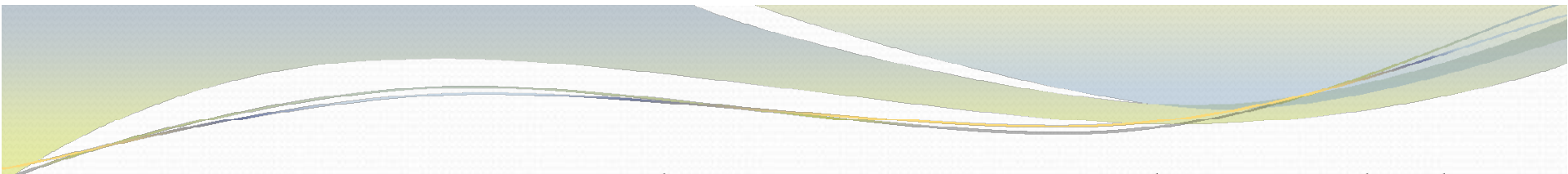
Principalele standarde în vigoare care se referă la mașinile electrice rotative


- STAS 4861/1-73 Mașini electrice rotative. Terminologie generală
- STAS 4861/1-73 Mașini electrice rotative. Glisiere dimensiuni.
- STAS 3528-82 Plăcuțe indicatoare pentru mașini electrice rotative.
- STAS 4199-88 Mașini electrice rotative. Perii. Dimensiuni.
- STAS 7314-80 Demaratoare rotorice cu rezistențe pentru motoare electrice de joasă tensiune. Condiții tehnice generale de calitate.
- STAS 8198-78 Găuri de centrare și filetare pentru arborii mașinilor electrice.
- STAS 8457/1,2-79 Plăci de borne pentru mașini electrice rotative. Condiții tehnice generale de calitate. Dimensiuni.

- 
- STAS 8786/1-91 Mașini electrice rotative. Perii, portperii, colectoare și inele. Termeni specifici și prezentare grafică.
 - STAS 10089-91 Mașini electrice rotative. Perii. Metode de încercare a periilor.
 - STAS 11000-86 Mașini electrice rotative. Perii. Condiții tehnice generale de calitate.
 - STAS 10223/3-84 Mașini electrice rotative. Metode de determinare a caracteristicilor funcționale ale materialului pentru perii.
 - STAS 12015-81 Mașini electrice rotative. Colectoare și inele de contact. Diametre nominale.
 - STAS 11628- 83 Cutii de borne pentru motoare asincrone de 6kV. Condiții constructive și dimensiuni.
 - STAS R 12407-86 Mașini electrice rotative pentru vehicule feroviare și rutiere.

- 
- STAS 4861/3-75 Mașini electrice rotative. Mărimi caracteristice. Terminologie.
 - STAS 4861/4-74 Mașini electrice rotative. Funcționare, caracteristici, încercări. Terminologie.
 - STAS 9904/1-81 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Prescripții generale.
 - STAS 9904/2-81 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Verificarea izolației.
 - STAS 9904/3-75 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu.
 - STAS 9904/4-81 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Încercarea la încălzire.
 - STAS 9904/5-75 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Încercarea la suprasarcină de scurtă durată și la supraturație.

- 
- STAS 9904/6-84 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea cuplului și curentului inițial de pornire, a cuplului maxim și a cuplului minim în timpul pornirii.
 - STAS 9904/8-77 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea pierderilor și a randamentului.
 - STAS 9904/9-82 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea momentului de inerție al rotorului.
 - STAS 9904/11-78 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Metoda de măsurare a nivelului de vibrații.
 - STAS 9904/13-80 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea creșterii temperaturii cu rotorul blocat.
 - STAS 9904/14-84 Mașini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea rezistenței înfășurărilor fără deconectarea mașinii de la rețea.

- 
- STAS 625-85 Mașini electrice rotative. Grade normale de protecție.
 - STAS 3998/1-74 Mașini electrice rotative. Simbolizarea formelor constructive și a modurilor de montaj. Codul I.
 - STAS 3998/2-74 Mașini electrice rotative. Simbolizarea formelor constructive și a modurilor de montaj. Codul II.
 - STAS 3530-71 Mașini electrice rotative. Marcarea extremităților înfășurărilor. Corelarea cu sensul de rotație.
 - STAS 3528-82 Plăcuțe indicatoare pentru mașini electrice rotative.
 - STAS 7301-74 Mașini electrice rotative. Metode de măsurare a nivelului de zgomot.
 - STAS 8274-74 Mașini electrice rotative. Nivele admisibile de zgomot.


- 
- STAS 8681-78 Mașini electrice rotative. Niveluri admisibile de vibrații.
 - STAS 11614-81 Înfășurări statorice de înaltă tensiune ale mașinilor electrice rotative. Condiții tehnice și metode de încercare.
 - STAS 8457/1-79 Plăci de borne pentru mașini electrice rotative. Condiții tehnice generale de calitate.
 - STAS 1893/1-87 Mașini electrice rotative. Condiții tehnice generale.
 - STAS 1893/2-87 Mașini electrice rotative. Reguli și metode pentru verificarea calității.
 - STAS 1893/3-87 Mașini electrice rotative. Marcare, ambalare, livrare, garanții, documente.
 - STAS R 12407-86. Mașini electrice rotative pentru vehicule feroviare și rutiere. Criterii de apreciere a comutației.


Standarde europene adoptate ca standarde române

- SR EN 60034-18-21+A1+A2: 1998 Mașini electrice rotative. Partea 18: Evaluarea funcțională a sistemelor de izolație. Secțiunea 21: Proceduri de încercare pentru înfășurări în conductor. Evaluare termică și clasificare.
- SR EN 60034-1+A1+A2: 2000 Mașini electrice rotative. Partea 1: Valori nominale și caracteristici de funcționare.
- SR EN 60034-9: 2000 Mașini electrice rotative. Partea 9: Limite de zgomot.
- SR EN 60034-12/A11: 2001 Mașini electrice rotative. Partea 12: Caracteristici de pornire ale motoarelor asincrone trifazate cu rotor în colivie cu o singură turație pentru tensiuni de alimentare mai mici sau egale cu 600V, 50Hz.
- SR EN 60034-3:1999 Mașini electrice rotative. Partea 3: Cerințe specifice pentru mașinile sincrone tip turbo.

Standarde internaționale adoptate ca standarde românești

- SR CEI 60034-6: 1994 Mașini electrice rotative. Partea 6: Moduri de răcire.
- SR CEI 60034-11-2+A1: 1998 Mașini electrice rotative. Partea 11: Protecție termică înglobată. Cap.2: Detectoare termice și unități de comandă utilizate în dispozitivele de protecție termică.
- SR CEI 60034-15: 1994 Mașini electrice rotative. Partea 15: Niveluri de ținere la impuls de tensiune ale mașinilor electrice de curent alternativ cu bobine stator performante.
- SR CEI 60034-16-1: 1994 Mașini electrice rotative. Partea 16: Sisteme de excitație pentru mașinile sincrone. Cap. 1: Definiții.

- 
- SR CEI 60072-1: 1994. Dimensiuni și serii de puteri ale mașinilor electrice rotative. Partea 1: Carcase între 56 și 400 și flanșe între 55 și 1080.
 - SR CEI 60072-2: 1994. Dimensiuni și serii de puteri ale mașinilor electrice rotative. Partea 2: Carcase între 355 și 1000 și flanșe între 1180 și 2360.
 - SR CEI 60034-12+A1: 1995 Mașini electrice rotative. Partea 12: Caracteristici de pornire ale motoarelor asincrone cu rotor în scurt circuit cu o singură turație pentru tensiuni de alimentare până la 660V inclusiv.
 - SR CEI 60349-3: 1999. Tracțiune electrică. Mașini electrice rotative pentru vehicule pe șine și rutiere. Partea 3: determinarea pierderilor totale ale motoarelor de curent alternativ alimentate de la convertizor prin însumarea pierderilor elementare.
 - SR CEI 60892:1995. Efectele unui sistem dezechilibrat de tensiuni asupra caracteristicilor de funcționare ale motorului asincron trifazat cu rotor în scurt circuit.

- 
- SR CEI 60050(811):2000 Vocabular internațional. Cap 811: Tracțiune electrică.
 - SR CEI 60349: 1997 Tracțiune electrică. Mașini electrice rotative pentru vehicule pe șine și rutiere.
 - SR CEI 60349-2: 1998 Tracțiune electrică. Mașini electrice rotative pentru vehicule pe șine și rutiere. Partea 2: Motoare de curent alternativ alimentate de la convertizor electronic.
 - SR CEI 60349-3: 1998 Tracțiune electrică. Mașini electrice rotative pentru vehicule pe șine și rutiere. Partea 3: Determinarea pierderilor totale ale motoarelor de curent alternativ alimentate de la convertizor prin sumarea pierderilor elementare.

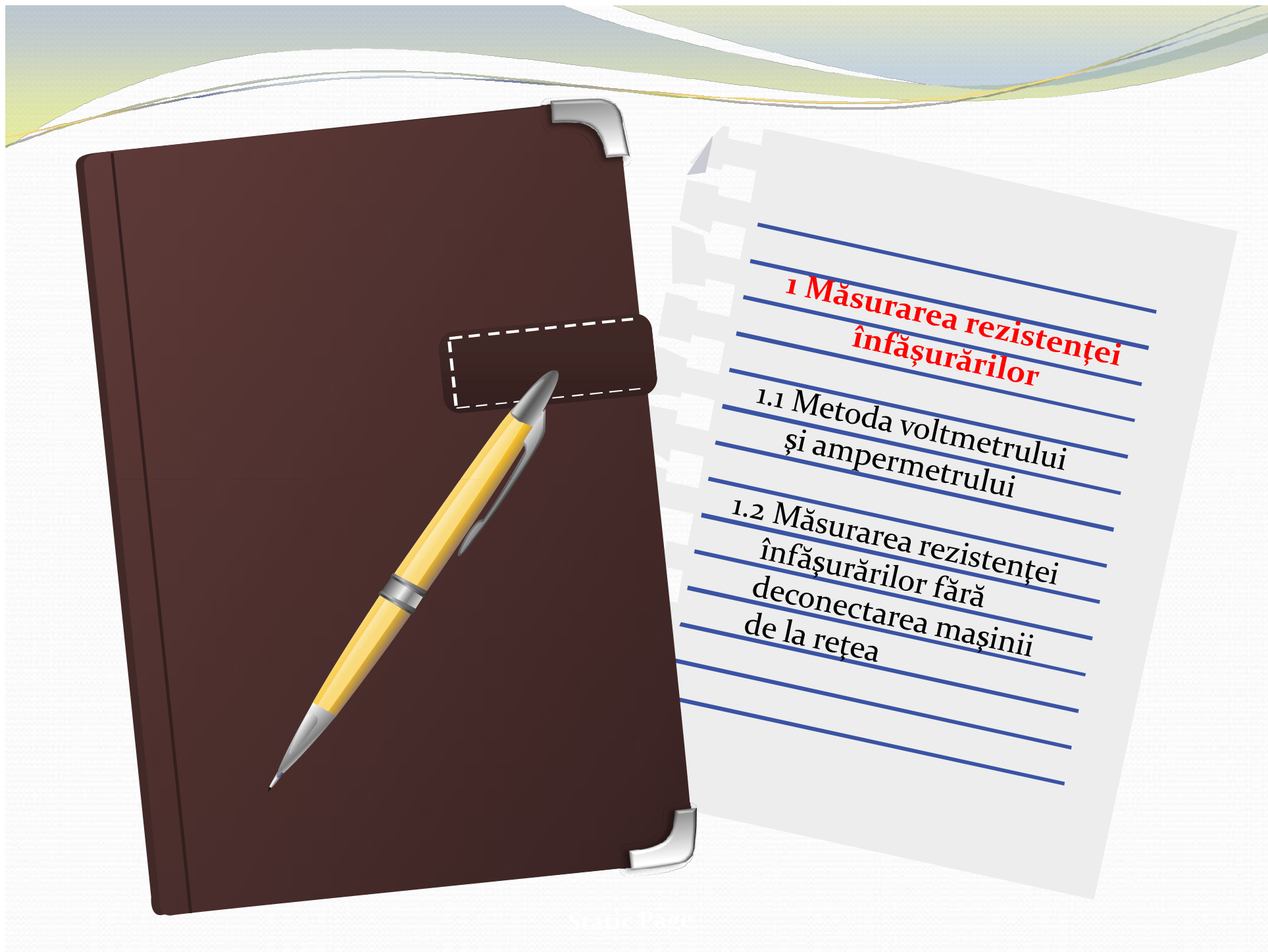
ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



ÎNCERCĂRI COMUNE MAȘINILOR ELECTRICE

- **1 Măsurarea rezistenței înfășurărilor**
- **2 Măsurarea puterii și a factorului de putere în curent alternativ**
- **3 Măsurarea cuplului**
- **4 Încercarea la supraturație**
- **5 Încercarea la încălzire**
- **6 Încercări dielectrice**
- **7 Pierderile și randamentul mașinilor electrice**



1 Măsurarea rezistenței înfășurărilor

1.1 Metoda voltmetrului
și ampermetrului

1.2 Măsurarea rezistenței
înfășurărilor fără
deconectarea mașinii
de la rețea

```
graph TD; A([măsurarea rezistenței înfășurărilor în c.c.]) --> B[metoda punții duble]; A --> C[metoda punții simple]; A --> D[metoda voltmetrului și ampermetrului];
```

**măsurarea rezistenței
înfășurărilor în c.c.**

**metoda
punții duble**

**metoda
punții simple**

**metoda voltmetrului
și ampermetrului**

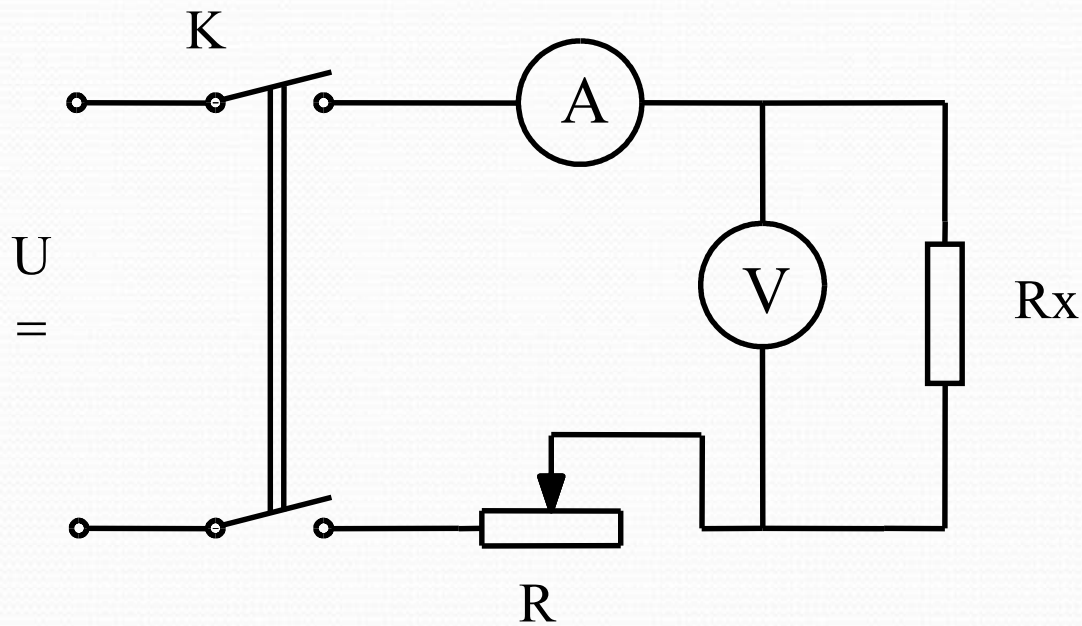
Condiții pentru determinarea rezistenței înfășurărilor!

Pe lângă măsura de protecție împotriva unui accident, un alt aspect important în proiectarea și execuția sistemelor de înfășurare este asigurarea rezistenței acestora la solicitările mecanice și termice. Pentru a determina rezistența înfășurărilor, trebuie să se cunoască următoarele condiții:

- Temperatura de lucru a înfășurării;
- Tipul și valoarea sarcinilor mecanice aplicate;
- Caracteristicile materialelor utilizate;
- Condițiile de mediu (umiditate, vibrații, etc.).



Metoda voltmetrului și ampermetrului

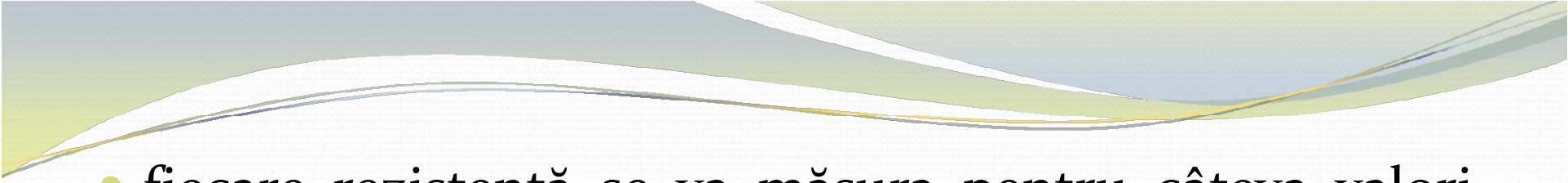


$$R_{tN} = R_m \frac{t_N + 235}{t_m + 235}$$



Atenție!

- voltmetrul se va conecta direct la bornele înfășurării a cărei rezistență se măsoară;
- numărul de contacte demontabile, din circuitul de măsură, să fie cât mai redus;
- sursa de curent continuu să fie o baterie de acumulare bine încărcată;
- citirea indicațiilor aparatelor se va efectua concomitent de către două persoane la indicația celei care citește voltmetrul;

- 
- fiecare rezistență se va măsura pentru câteva valori diferite ale curentului, cel puțin cinci, mergând de la valori mari la valori mici ale acestuia;
 - la măsurarea aceleiași rezistențe se recomandă evitarea schimbării domeniilor de măsurare ale aparatelor;
 - la măsurătorile de precizie ridicată se vor lua în considerare și corecțiile de verificare ale aparatelor de măsură;
 - pentru evitarea încălzirii înfășurărilor datorită curentului de măsurare, valoarea acestuia nu trebuie să depășească 20% din curentul nominal al înfășurării respective.



Măsurarea rezistenței înfășurărilor fără deconectarea mașinii de la rețea

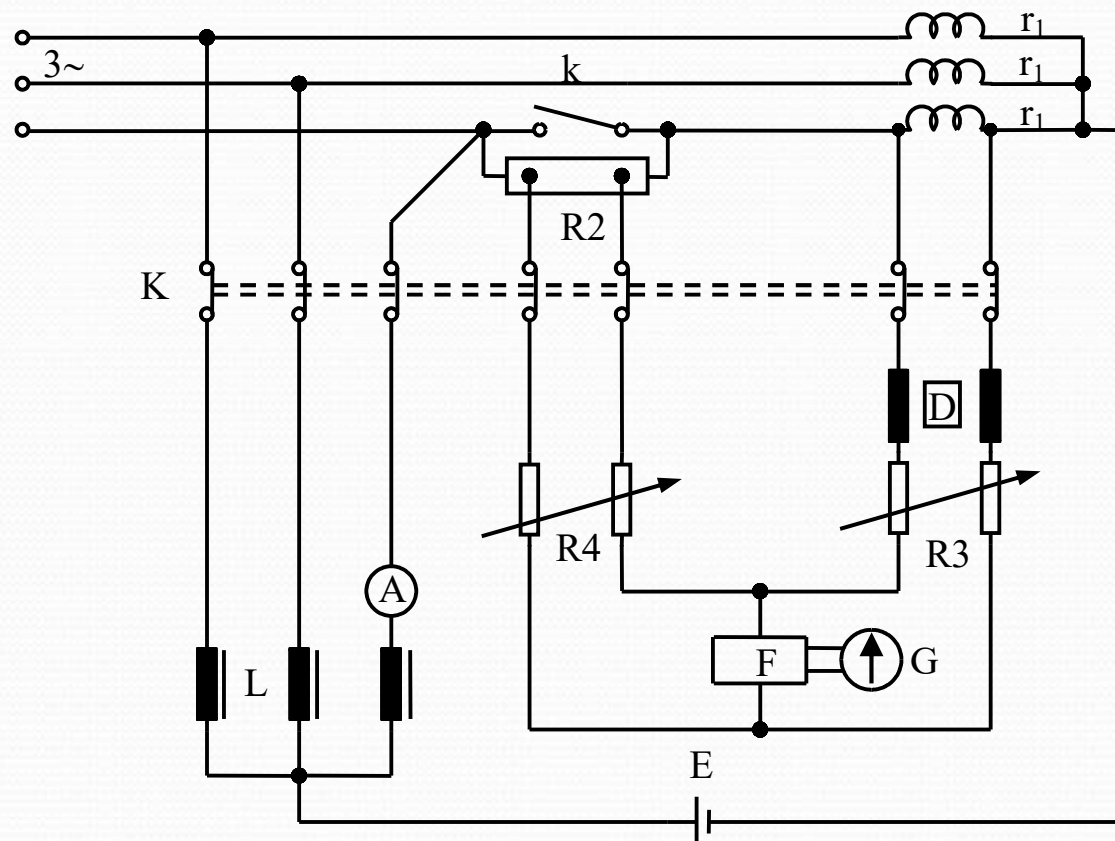
Domeniul de utilizare

- Pentru mașinile electrice rotative de curent alternativ cu tensiunea nominală până la 10.000 V inclusiv, puteri de la 0,1 la 10.000 kW și o frecvență mai mare de 40Hz

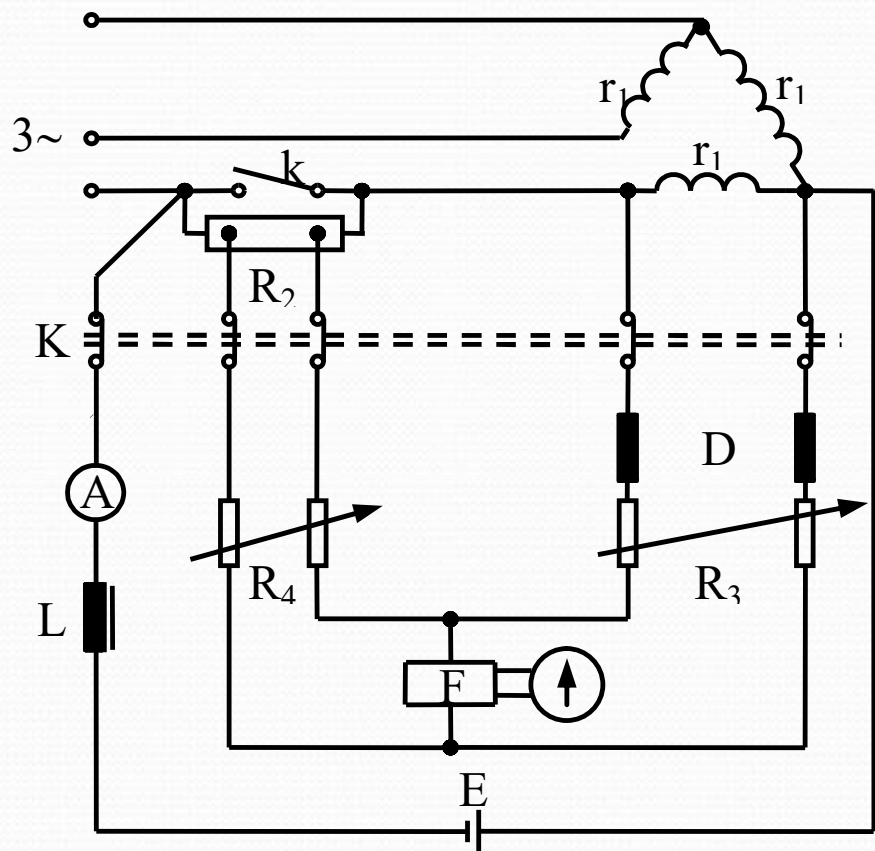
Principiul de măsurare

- Metodele de măsurare au la bază principiul suprapunerii curenților, modul de realizare a acestor suprapuneri fiind în funcție de metoda de măsurare utilizată

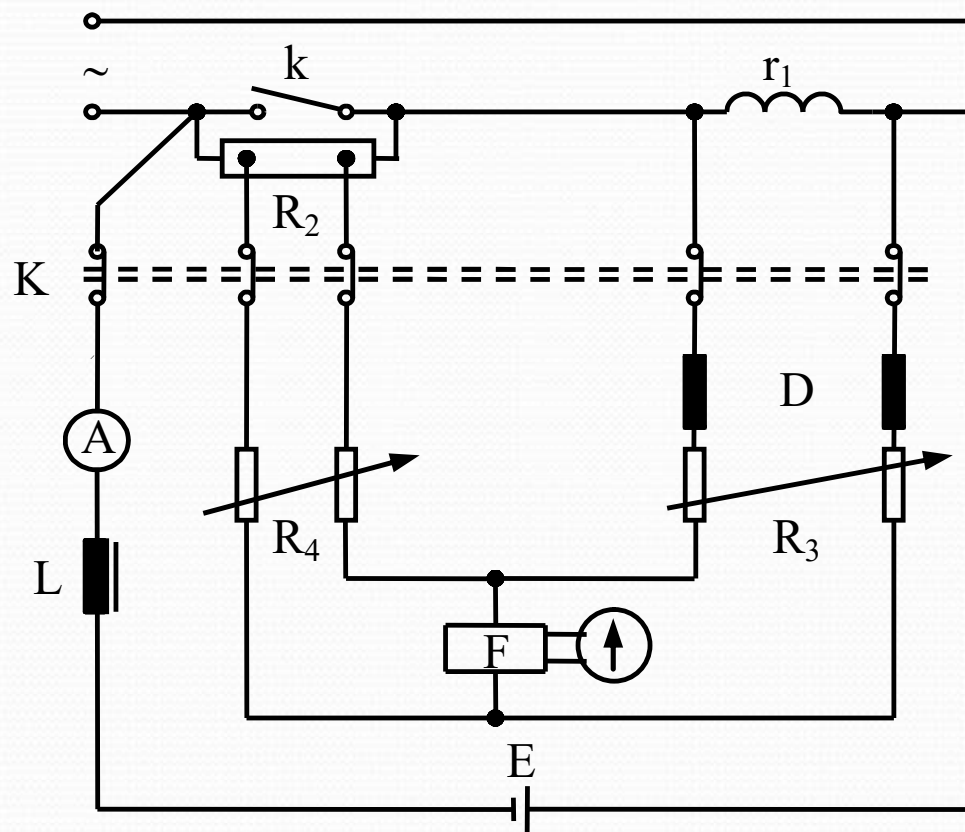
Metoda punții duble (Thomson)



Măsurarea rezistenței unei înfășurări trifazate conectate în stea



măsurarea rezistenței trifazate
conectate în triunghi



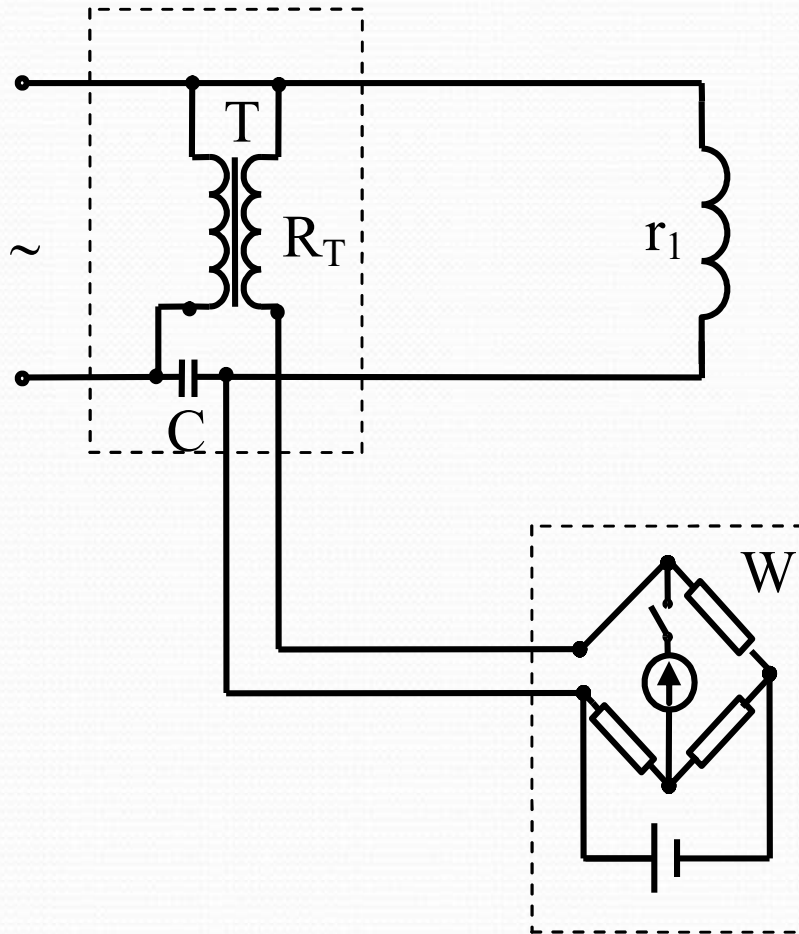
măsurarea rezistenței unei
înfășurări monofazate

Recomandări!

- valoarea rezistenței etalon a punții R_2 să fie mai mică decât $0,1 \cdot r_1$;
- rezistența R_D a impedanțelor D să fie cunoscută cu aceeași precizie ca și rezistențele reglabile din brațele punții (R_3, R_4);
- Dacă se poate alege modul de conectare a înfășurării care se încearcă, se recomandă ca măsurarea să se facă cu înfășurările conectate în stea;

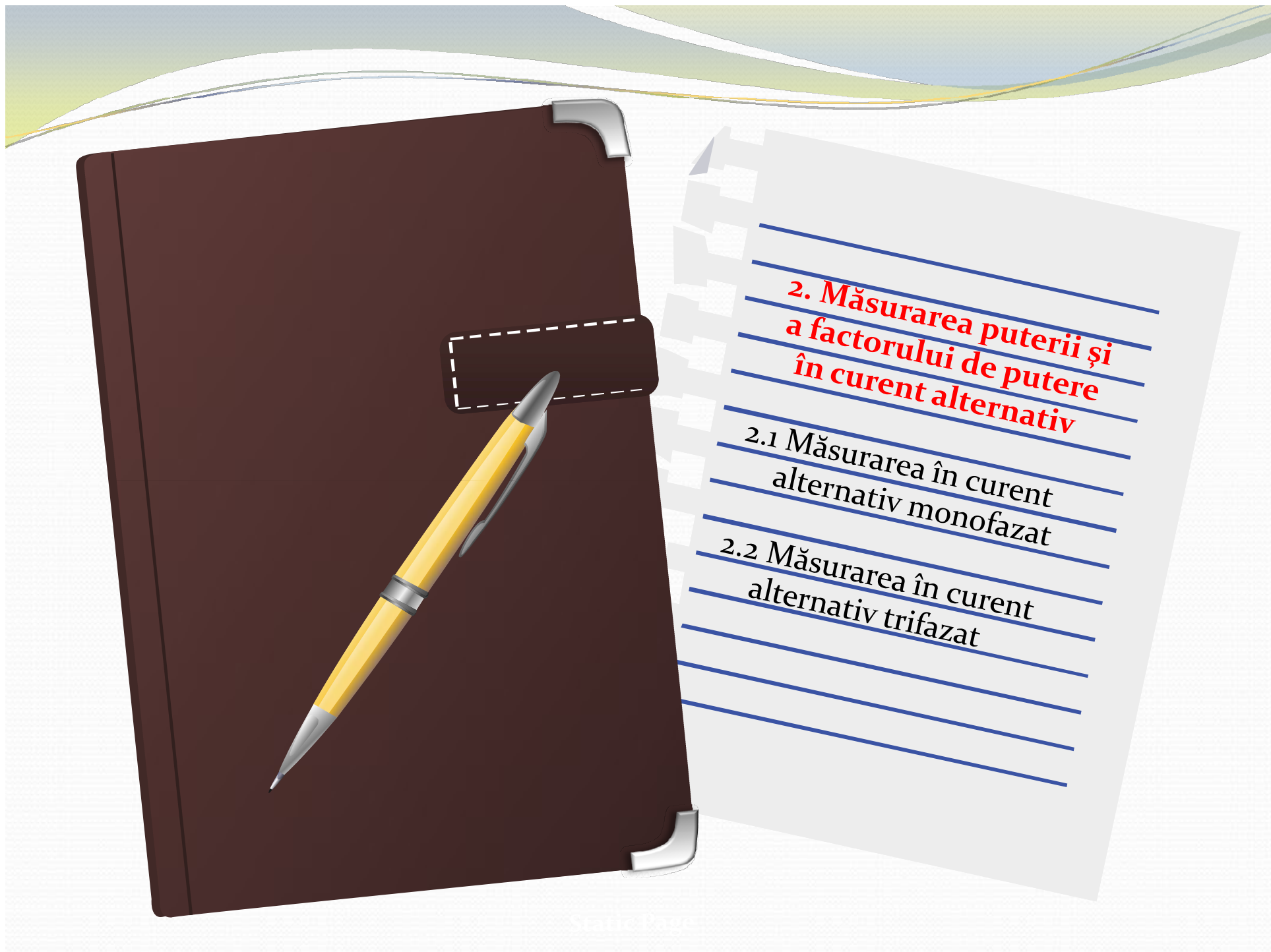
$$r_1 = R_2(R_3 + R_D) / R_4$$

Metoda punții simple



$$r_1 = r_1' - R_T$$

Măsurarea rezistenței unei înfășurări monofazate cu o punte simplă Wheatstone

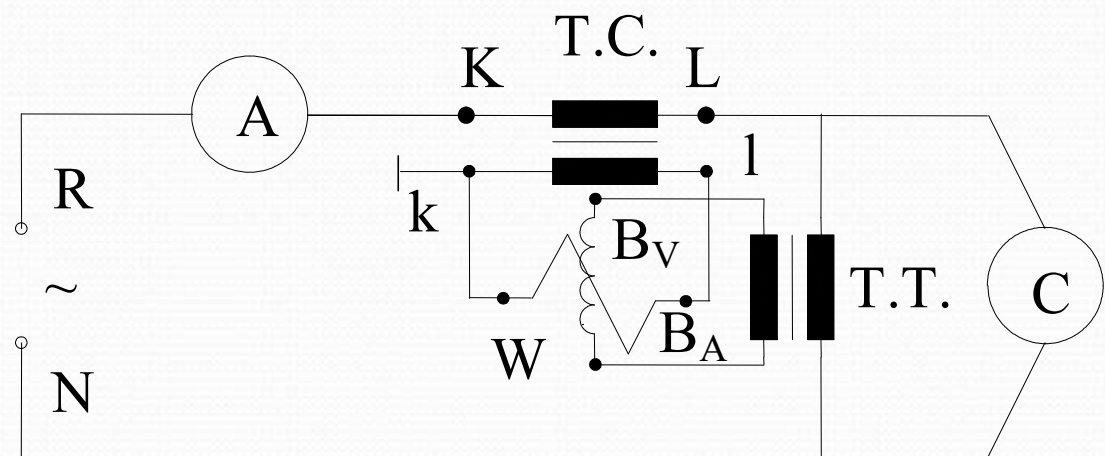
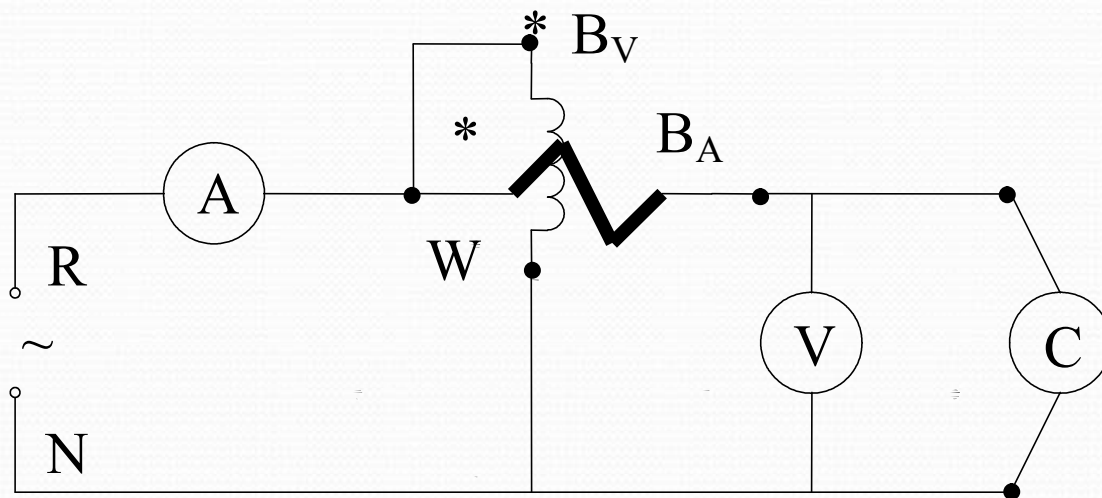


**2. Măsurarea puterii și
a factorului de putere
în curent alternativ**

2.1 Măsurarea în curent
alternativ monofazat

2.2 Măsurarea în curent
alternativ trifazat

Măsurarea în curent alternativ monofazat



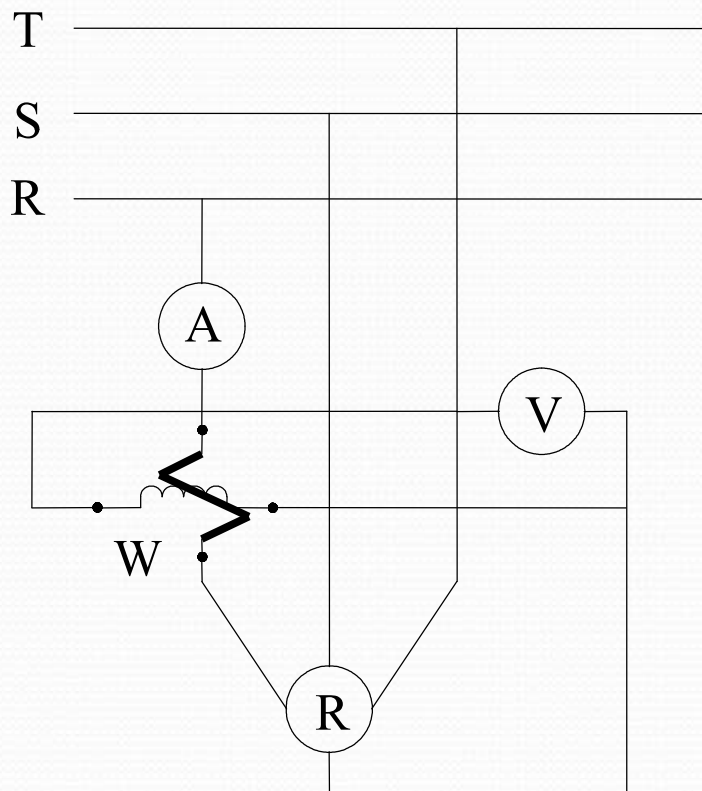

$$P = K'_w \cdot \alpha = K_w \cdot K_1 \cdot K_U \cdot \alpha$$

- K_w - constanta wattmetrului;
- K_1 și K_U - rapoartele de transformare ale celor două transformatoare de măsură;
- α - numărul de diviziuni indicate de acul wattmetrului

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

Măsurarea în curent alternativ trifazat

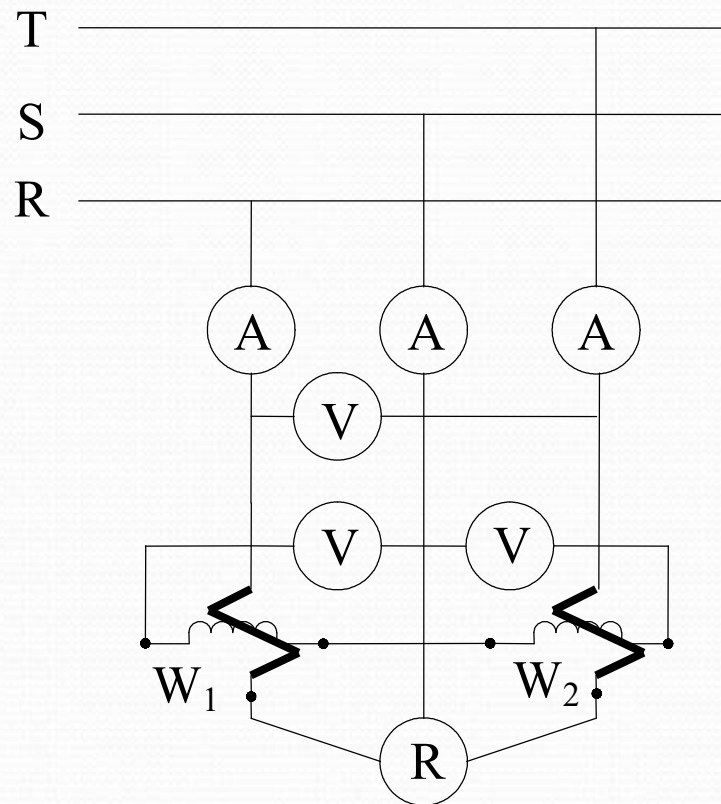
În cazul unui receptor trifazat încărcat simetric, cu nulul accesibil,



Factorul de putere

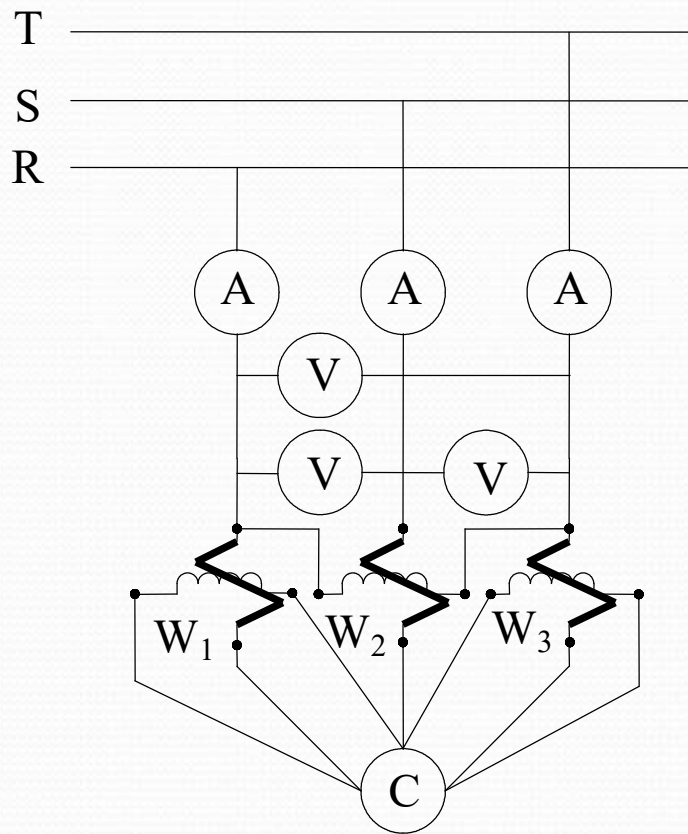
$$\cos \varphi = \frac{P}{3UI}$$

metoda celor două wattmetre



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

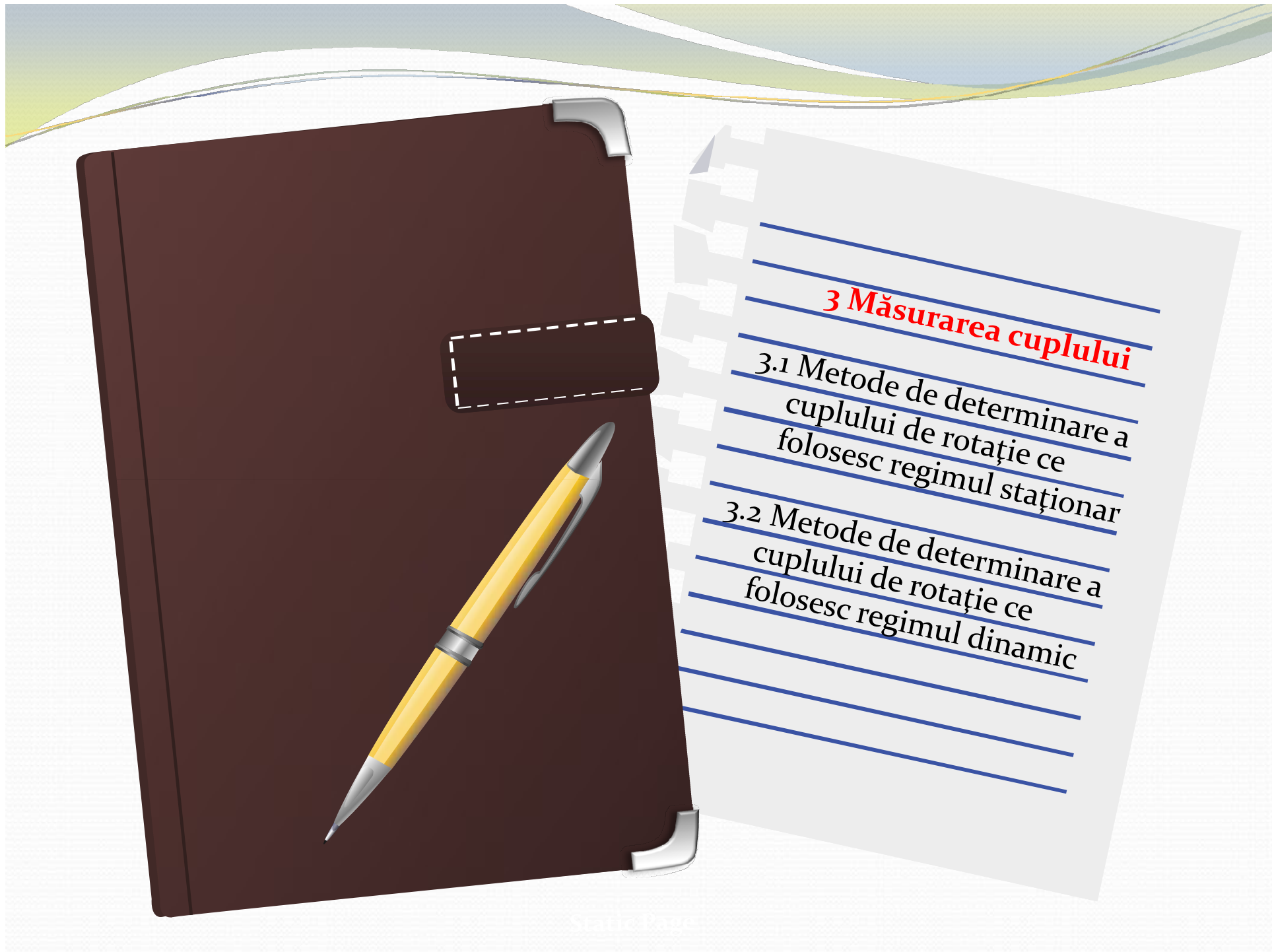
utilizarea a trei wattmetre, câte unul pe fiecare fază



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

ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



3 Măsurarea cuplului

3.1 Metode de determinare a cuplului de rotație ce folosesc regimul staționar

3.2 Metode de determinare a cuplului de rotație ce folosesc regimul dinamic

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

**metode ce folosesc
regimul staționar**

**metode ce folosesc
regimul dinamic**

Metode de determinare a cuplului de rotație ce folosesc regimul staționar

- $M_{st}=?$ considerând $M_j=0$

Metode de realizare a cuplului de încărcare

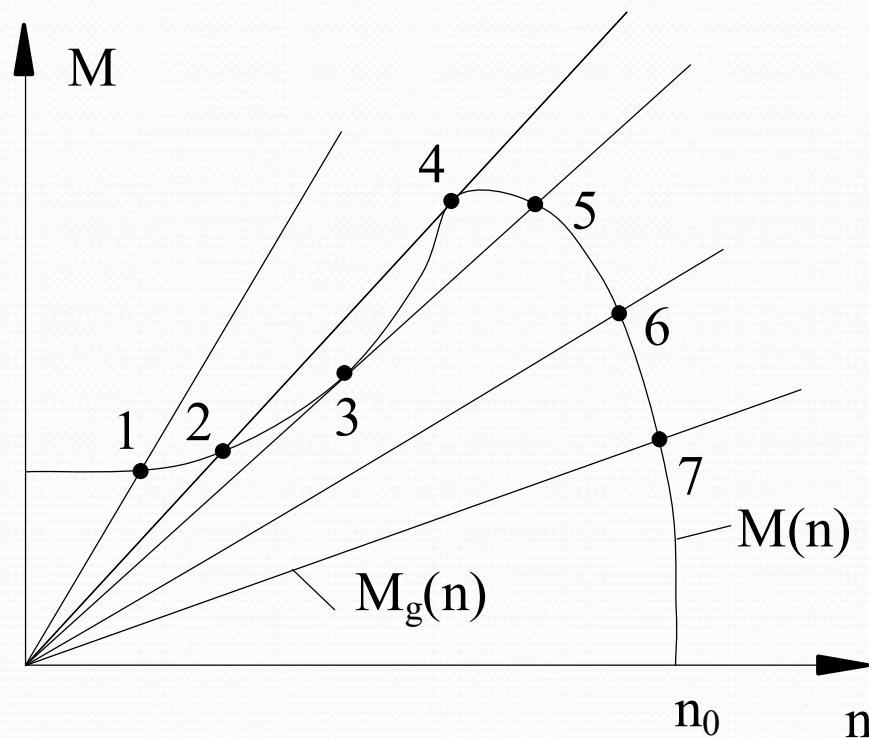
1. Generatorul de curent continuu încărcat pe o rezistență
2. Generatorul de curent continuu, încărcat în sistem recuperativ pe o rețea de curent continuu cu tensiunea variabilă

Metode de măsurare a cuplului la arborele mașinilor electrice rotative

1. Frâna electromagnetică
2. Dinamul frână

Incărcarea cu generatorul de curent continuu conectat pe o rezistență

Cuplul electromagnetic dezvoltat de generator (M_g) este aproximativ egal cu cuplul rezistent la arbore



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

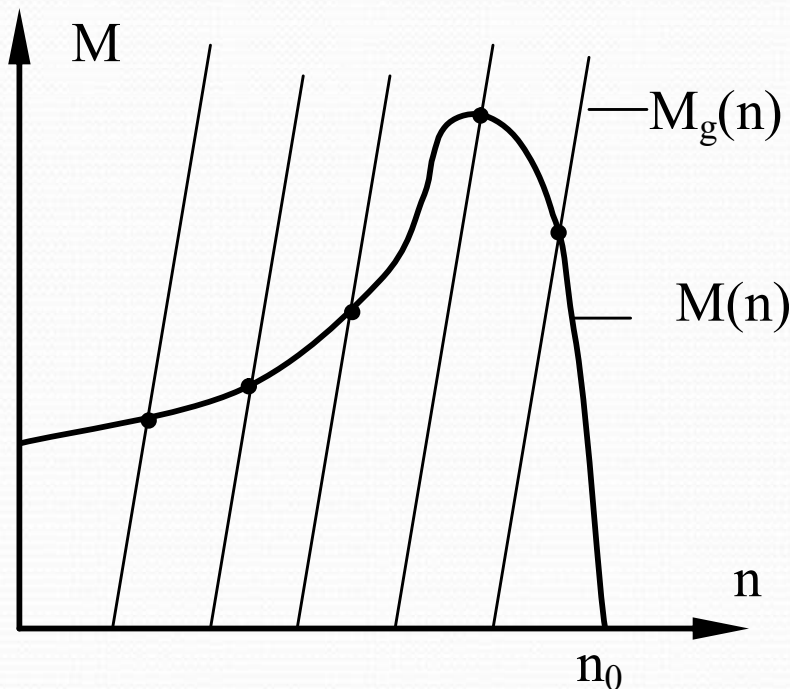
Dezavantaje:

- pe porțiunea 2-3 a caracteristicii $M=f(n)$ regimul este instabil
- la mașinile de puteri medii și mari, energia disipată pe rezistența de sarcină are valori importante

Incărcarea generatorului de curent continuu în sistem recuperativ pe o rețea cu tensiunea variabilă

Expresia cuplului dezvoltat de generator este

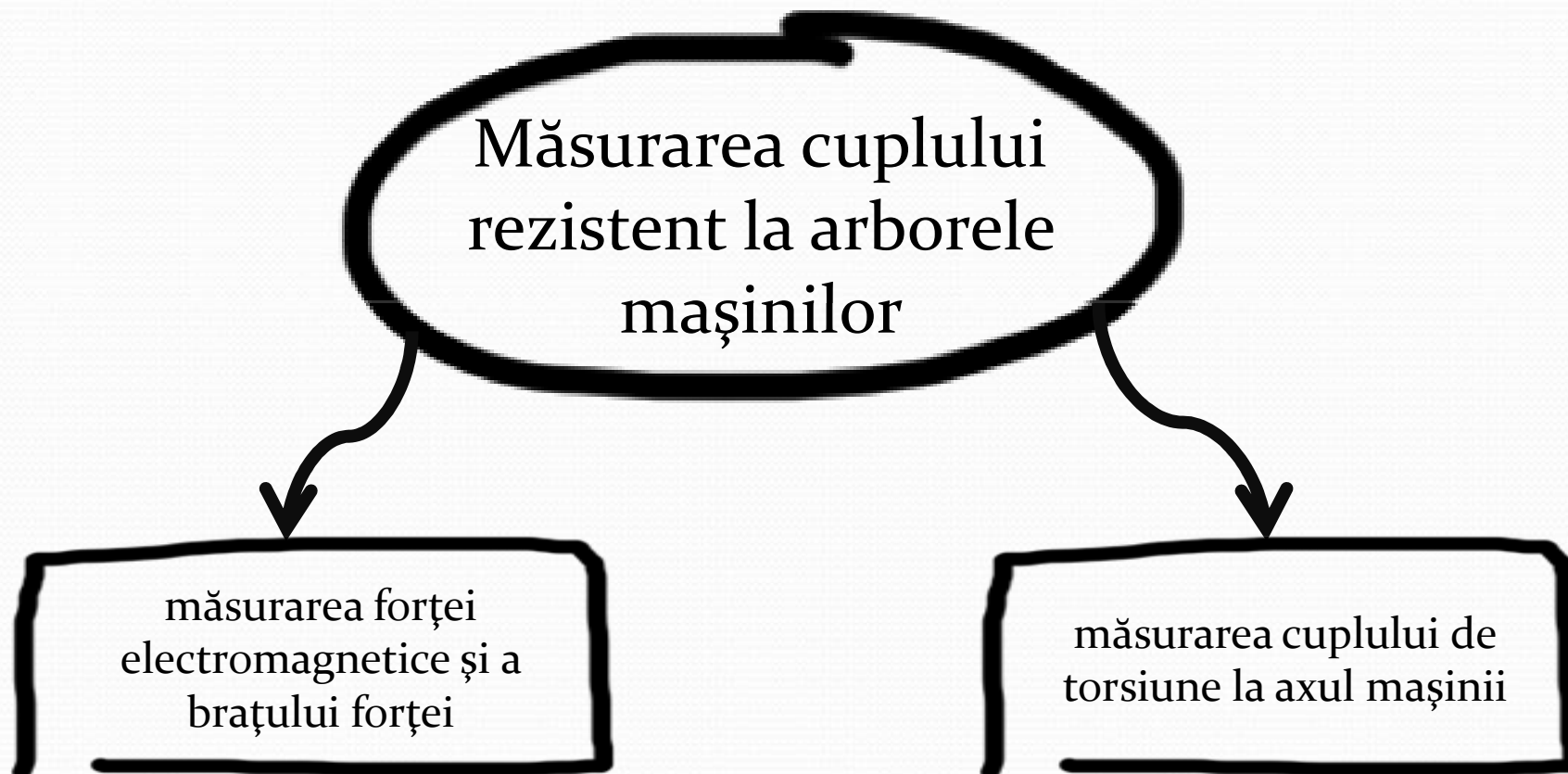
$$M_g = K' (n_e \cdot n) \Phi^2$$



Avantaje:

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

Metode de măsurare a cuplului la arborele mașinilor electrice rotative



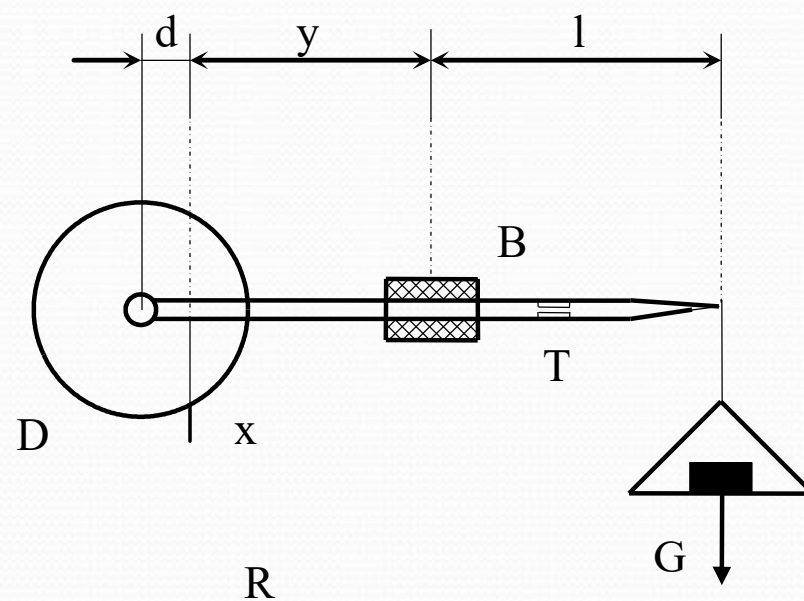
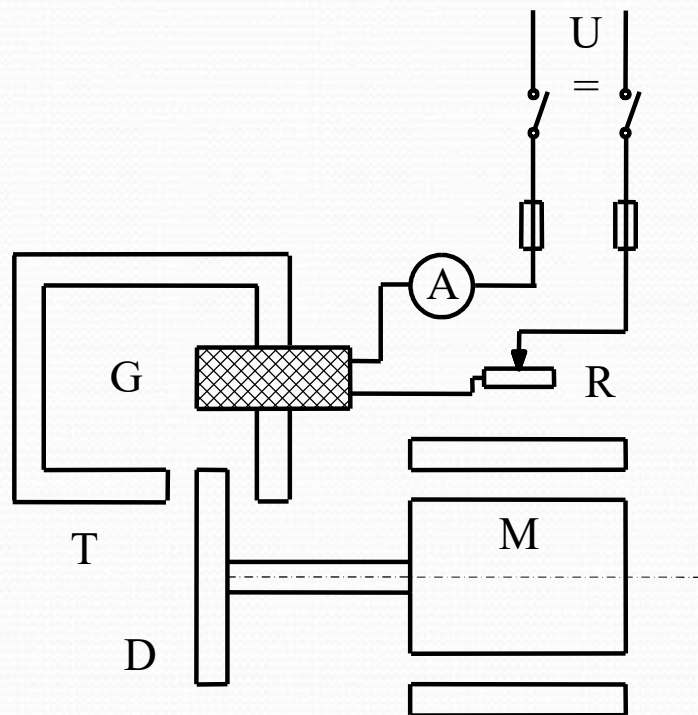


Măsurarea forței electromagnetice și a brațului forței

- Metoda de încărcare cu ajutorul unei frâne (mecanică, hidraulică sau electromagnetă) 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.

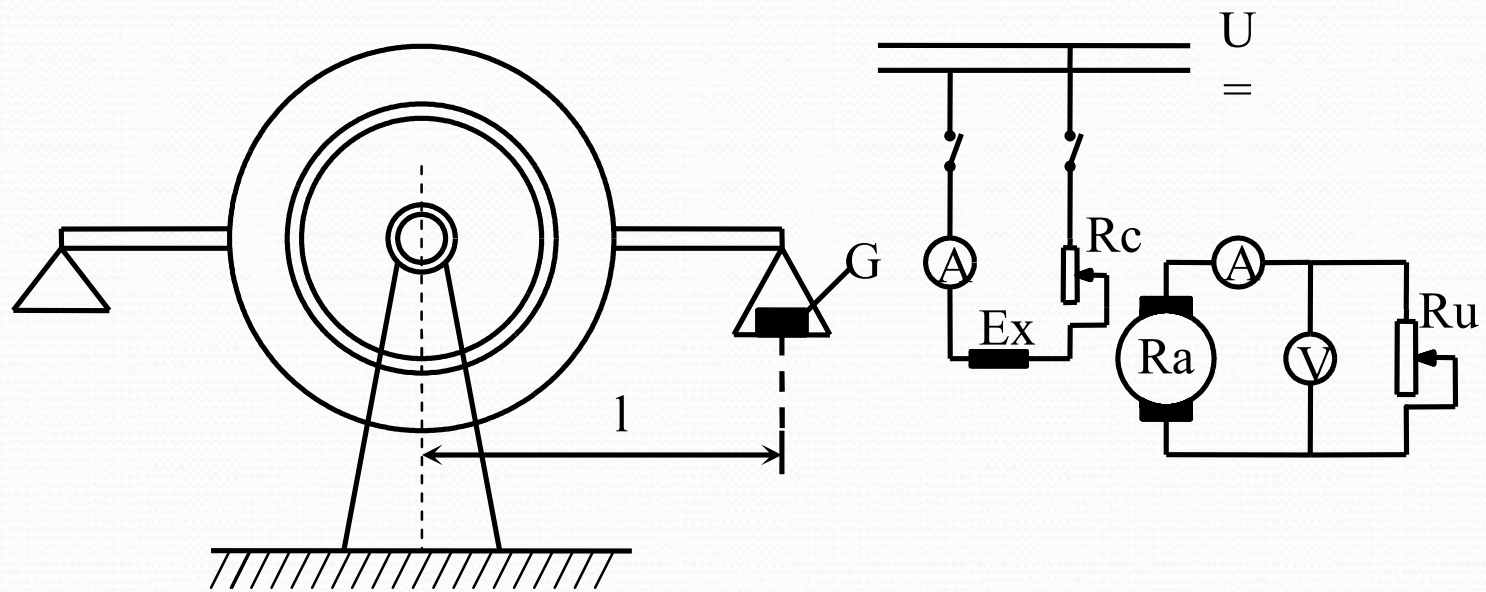
$$M = G \cdot l$$

Frâna electromagnetică



$$M = \frac{G \cdot l}{y} \cdot d$$

Dinamul frână



$$M = G \cdot l$$

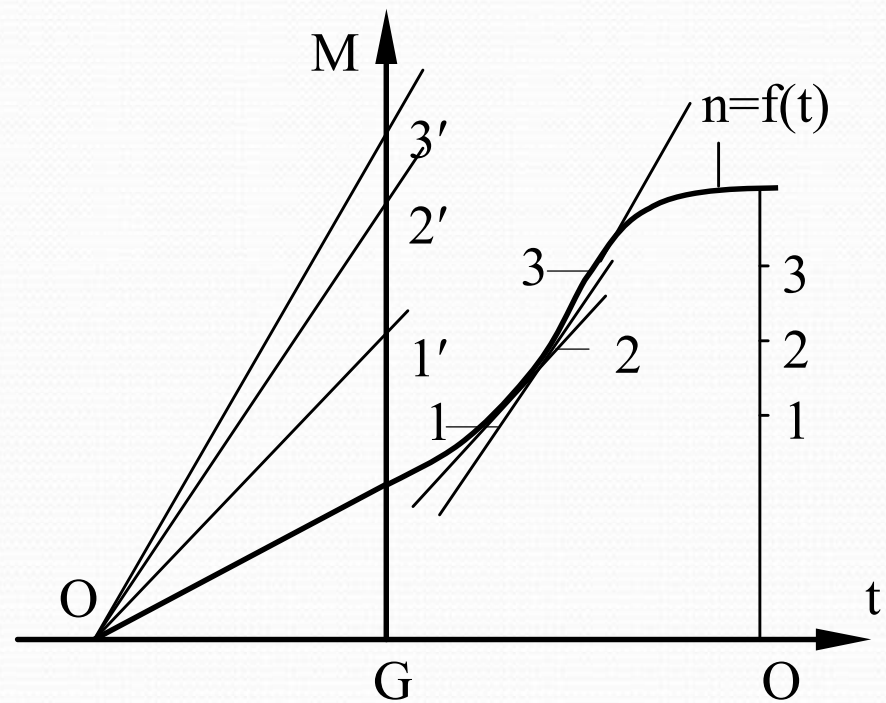
Metode de determinare a cuplului de rotație ce folosesc regimul dinamic

$$M_j = M = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = J \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{dn}{dt}$$

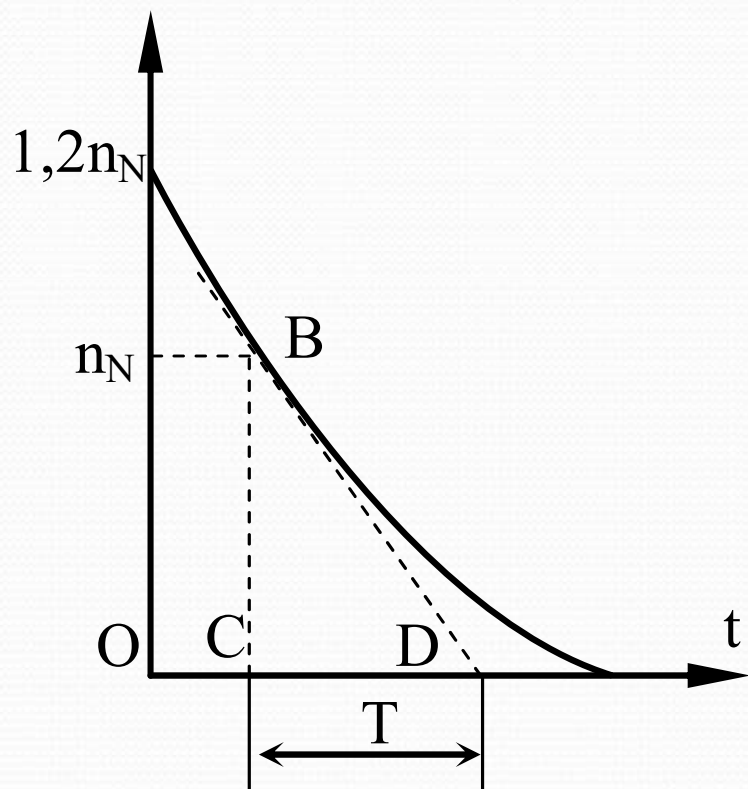
- Conform acestei relații, rezultă că pentru a determina caracteristica mecanică a unui motor, este necesar să se cunoască accelerația dn/dt , în perioada pornirii și momentul de inerție J .

Metoda grafică de determinare a accelerației

- Această metodă implică cunoașterea turației în perioada pornirii.
- Determinarea vitezei în perioada pornirii se realizează cuplându-se rigid un tahogenerator cu motorul a cărui caracteristici se determină.

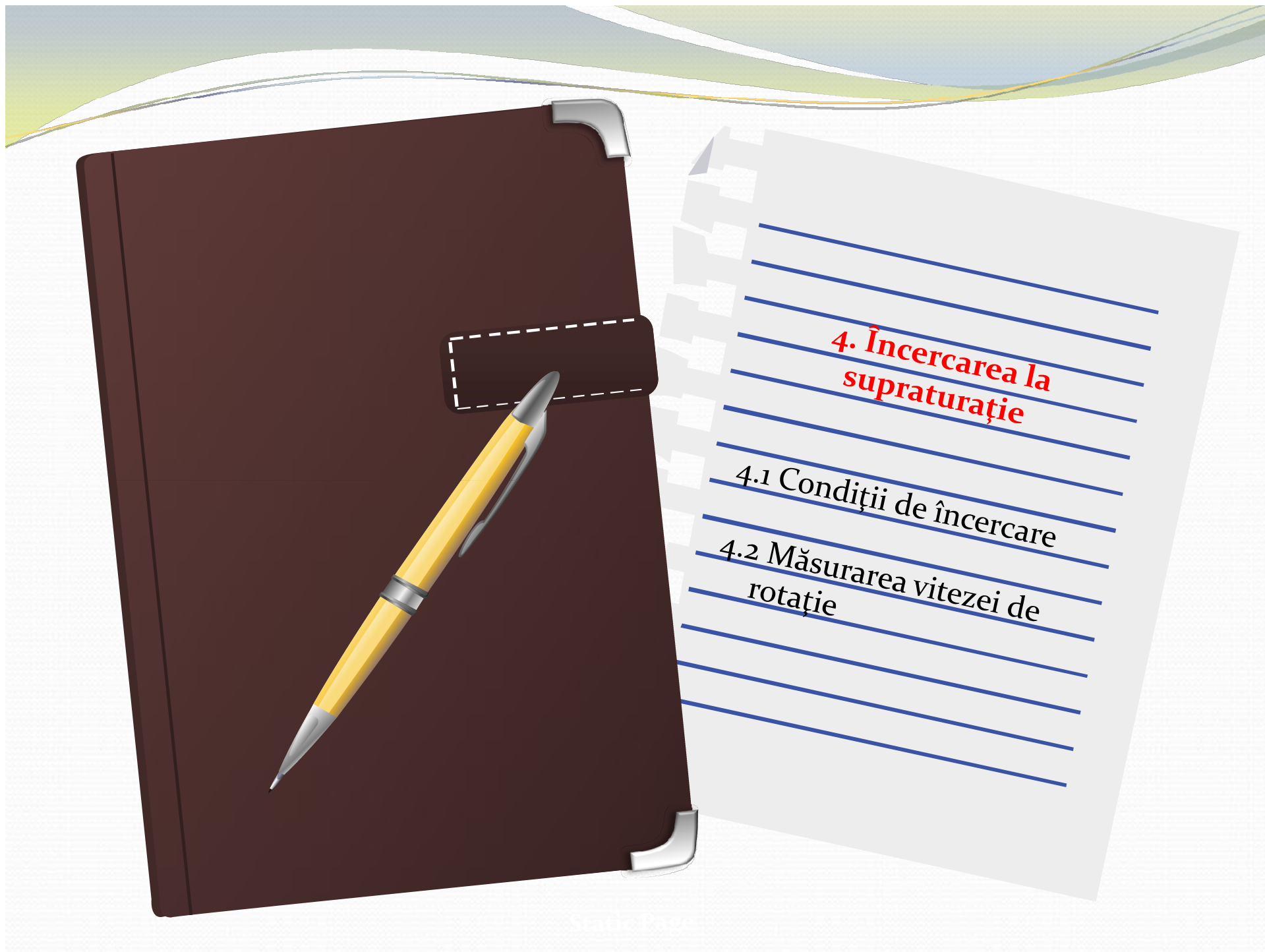


Determinarea momentului de inerție



$$J = \frac{3,65 \cdot 10^5 (p_{Fe} + p_m) \cdot T}{4n_0^2}$$

$$J = \frac{mD^2}{4}$$



4. Încercarea la supraturație

4.1 Condiții de încercare


4.2 Măsurarea vitezei de
rotație



Condiții de încercare

Programele încercărilor de tip și de control prevăd încercarea la supraturație a tuturor mașinilor fabricate, în vederea verificării rezistenței mecanice a părților rotative ale mașinii electrice sub acțiunea forțelor centrifuge.

- De regulă, încercarea la supraturație se realizează prin mărirea turației cu 20% peste turația nominală.
- Pentru mașinile cu mai multe turații nominale, încercarea la supraturație va urmări realizarea creșterii corespunzătoare a celei mai mari turații dintre acestea.

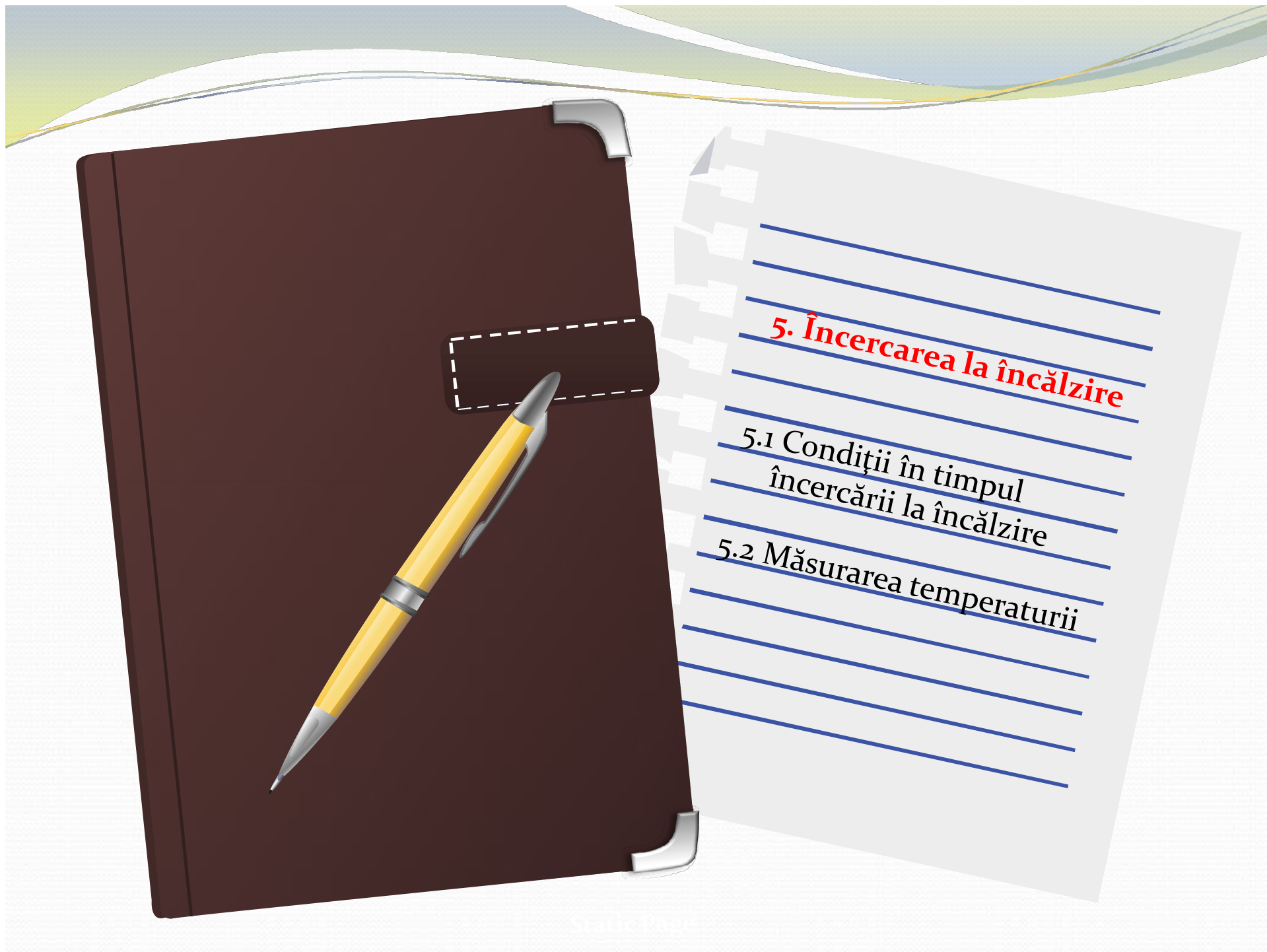


Realizarea creșterii vitezei de rotație se face în funcție de tipul mașinii electrice de încercat:

- Încercarea la supraturație a MCC se face prin mărirea tensiunii aplicate și nu prin slăbirea excitației;
- Dacă acționarea se face cu un motor de curent alternativ mărirea turației poate fi realizată prin:
 - *Mărirea frecvenței tensiunii de alimentare*
 - *Utilizarea ca motor de antrenare a unui motor rapid*
 - *Utilizarea unor reductoare introduse între motorul de acționare și mașina supusă încercării*
 - *Alimentarea rotorului bobinat al motorului asincron de la un convertizor de frecvență*

Măsurarea vitezei de rotație

- **1. Metoda contorului de turație** $n = 60 \cdot \frac{N}{T}$
- **2. Metoda tahometrului**
- **3. Metoda stroboscopului cu folosirea tahometrului**
- **4. Metoda stroboscopică**
- **5. Metoda frecvențmetrului** $n = 60 \cdot \frac{f}{p}$





Condiții în timpul încercării la încălzire

- Încercarea mașinii poate fi făcută la orice temperatură convenabilă a fluidului de răcire.
- Temperatura ambiantă a aerului sau gazului trebuie măsurată cu mai multe detectoare de temperatură repartizate în jurul mașinii.
- Temperatura fluidului de răcire primar trebuie măsurată la intrarea în mașină.
- Temperatura fluidului secundar de răcire se măsoară la intrarea în schimbătorul de căldură.



Măsurarea temperaturii

- **Măsurarea temperaturii înfășurărilor**

- metoda variației rezistenței cu temperatura;
- metoda traductoarelor interne de temperatură;
- metoda termometrului;
- metoda traductoarelor de temperatură montate;
- metoda superpoziției.



Metoda variației rezistenței cu temperatura

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

θ_2 - temperatura înfășurării la sfârșitul încercării [$^{\circ}\text{C}$];

θ_1 - temperatura înfășurării în momentul inițial [$^{\circ}\text{C}$];

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

R_2 - rezistența înfășurării la sfârșitul încercării [Ω];

R_1 - rezistența înfășurării la temperatura inițială [Ω].



Metoda traductoarelor interne de temperatură.

- Folosirea traductoarelor de temperatură:
 - termocupluri,
 - termorezistențe
 - diode semiconductoare
- Se introduc în mașină, în timpul fabricării acesteia, în puncte ce devin inaccesibile după fabricarea mașinii



Metoda termometrului

- Această metodă se poate aplica în următoarele cazuri:
 - când nu se poate măsura supratemperatura prin variația rezistenței
 - înfășurări într-un singur strat, în rotație sau fixe;
 - pentru măsurarea supratemperaturii în timpul încercărilor individuale pe mașini produse în serie mare.



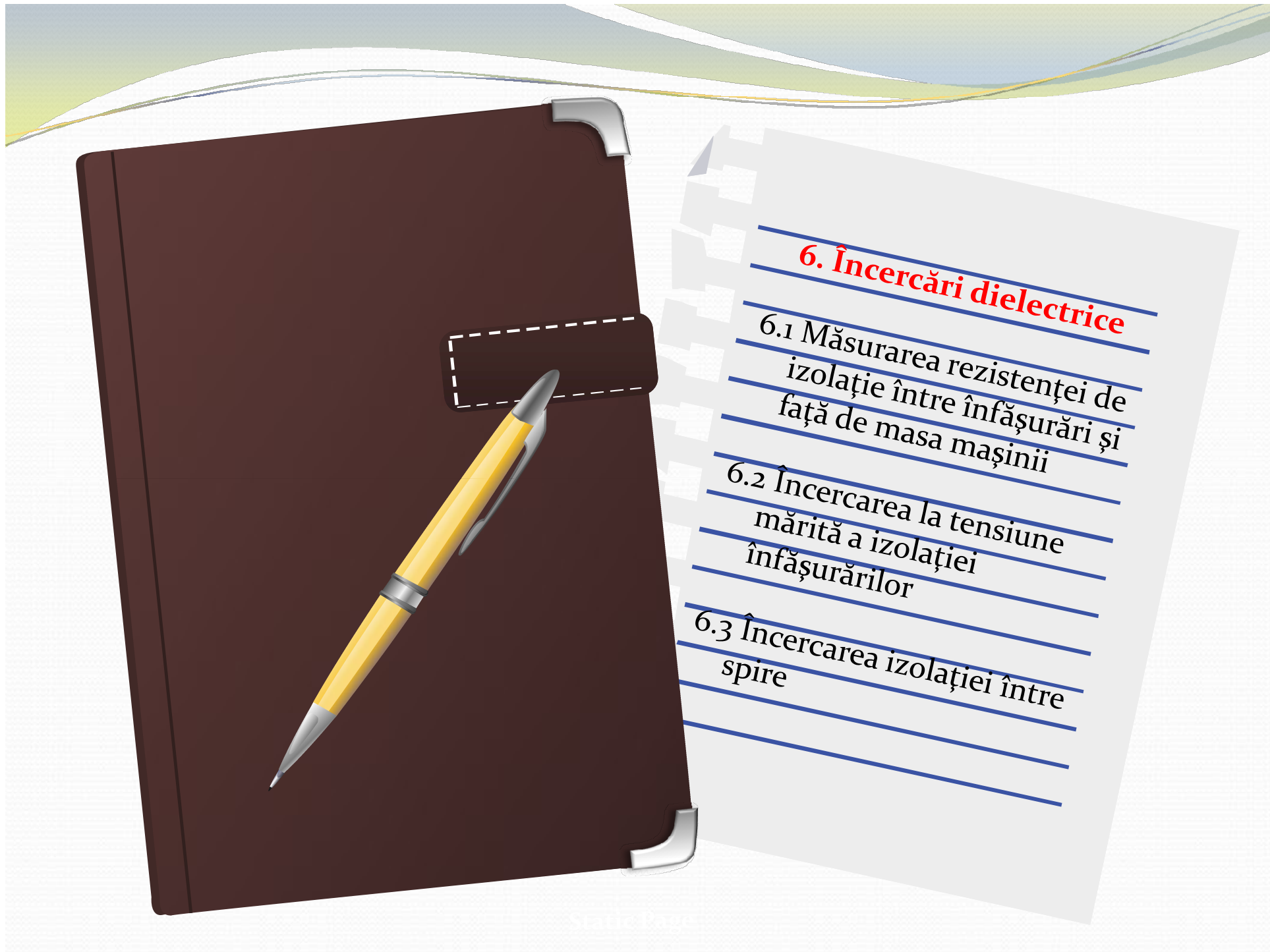
Metoda traductoarelor de temperatură montate

- 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.



6. Încercări dielectrice

6.1 Măsurarea rezistenței de izolație între înfășurări și față de masa mașinii

6.2 Încercarea la tensiune mărită a izolației înfășurărilor

6.3 Încercarea izolației între spire

Măsurarea rezistenței de izolație între înfășurări și față de masa mașinii

- Rezistența de izolație între înfășurări și față de masa mașinii se măsoară cu un megohmmetru.
- Măsurarea rezistenței de izolație se face:
 - în stare rece, înainte de începerea altor încercări ale mașinii;
 - în stare caldă, la o temperatură apropiată de cea corespunzătoare regimului nominal de funcționare.
- Pentru mașinile cu conexiunea realizată în interiorul mașinii, se măsoară numai rezistența de izolație față de masă.
- Măsurarea rezistenței de izolație se face cu mașina în stare de repaus iar înainte de începerea încercării mașina se conectează la pământ.



Încercarea la tensiune mărită a izolației înfășurărilor

- Încercarea la tensiune mărită a izolației se execută, ca încercare de tip, cu mașina în stare caldă, la o temperatură apropiată cu cea corespunzătoare regimului nominal de funcționare, după măsurarea rezistenței de izolație și după încercarea la supraturație
- Încercarea la tensiune mărită se face cu mașina în stare de repaus, cu excepția încercării de tip la înfășurările rotorice ale mașinilor sincrone cu poli înecați, care se execută la turația nominală.



Încercarea izolației între spire

- Încercarea izolației între spire se execută, ca încercare de tip, cu mașina în stare caldă, la o temperatură apropiată de cea corespunzătoare regimului nominal de funcționare, și după încercarea la supraturație.
- Izolația între spirele mașinilor electrice trebuie să reziste timp de 5 minute la tensiunea de încercare $1,3 U_N$, mașina fiind curățată, uscată și complet montată.
- Rezultatul încercării se consideră corespunzător dacă nu se produce străpungerea izolației și nu apare arc electric între diferitele părți ale mașinii.

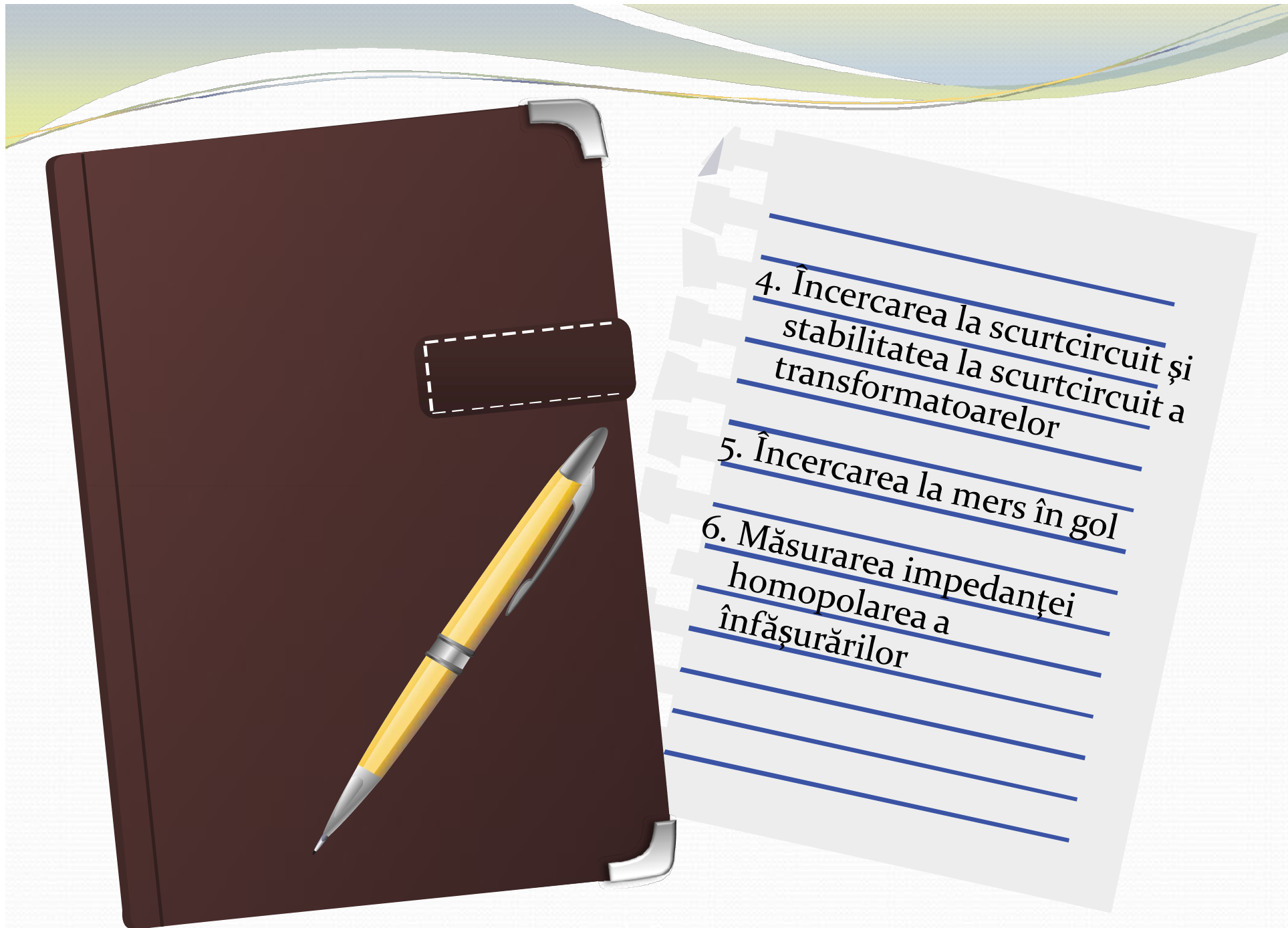
ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



**ÎNCERCĂRILE
TRANSFORMATOARELOR**

1. Determinarea rezistențelor înfășurărilor în c.c.
2. Determinarea raportului de transformare
3. Verificarea schemei și grupei de conexiuni



4. Încercarea la scurtcircuit și stabilitatea la scurtcircuit a transformatoarelor

5. Încercarea la mers în gol

6. Măsurarea impedanței homopolare a înfășurărilor

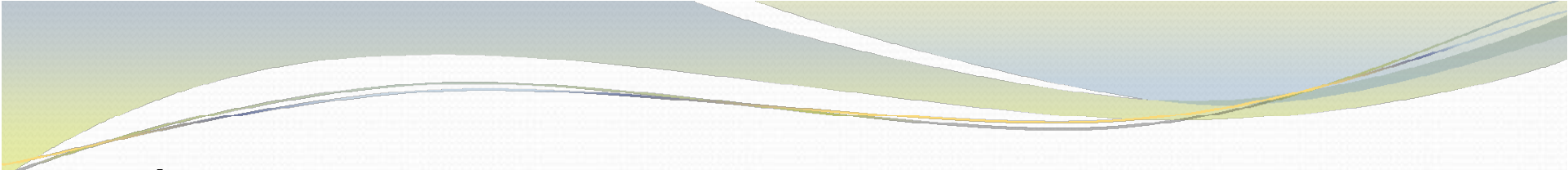
ÎNCERCĂRILE TRANSFORMATOARELOR

```
graph TD; A[ÎNCERCĂRILE TRANSFORMATOARELOR] --> B[Încercări de tip]; A --> C[Încercări individuale]; A --> D[Încercări speciale];
```

Încercări de tip

Încercări individuale

Încercări speciale

- 
- ***Încercările de tip*** se execută la asimilarea în fabricație a transformatoarelor, după modificări de materiale sau modificări introduse în construcție și în procesul tehnologic, care pot influența caracteristicile transformatoarelor.
 - ***Încercările individuale*** se execută pentru fiecare transformator în parte, stabilindu-se modul în care calitatea și performanțele acestuia concordă cu rezultatele încercărilor de tip.
 - ***Încercările speciale*** se vor executa numai în cazul unui acord între producător și beneficiar, pe unul sau mai multe transformatoare din același lot.

Condiții generale de efectuarea încercărilor

- temperatură ambiantă cuprinsă între 10°C și 40°C , cu apa de răcire (dacă este cazul) având o temperatură de maxim 25°C .
- pe platforme de încercări având toate elementele componente și accesoriile exterioare montate.
- sistemul de tensiuni trebuie să fie practic simetric, iar curba tensiunii trebuie să fie practic sinusoidală.
- măsurarea curentului, tensiunii și puterii se va face cu aparate de măsurat și cu transformatoare de măsură având clasa de precizie 0,5 sau mai bună



Programul încercărilor transformatoarelor de putere

- **Verificări preliminare**

- Determinarea rezistențelor înfășurărilor (în curent continuu);
- Verificarea raportului de transformare;
- Verificare grupei de conexiuni;
- Determinarea rezistenței de izolație a înfășurărilor și a coeficientului de absorbție ;
- Determinarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice a înfășurărilor;
- Determinarea capacității înfășurărilor.



- **Încercări dielectrice**

- Încercarea cu tensiune aplicată (TA)
- Încercarea cu impuls de tensiune de trăsnet (ITT), cu undă plină
- Încercarea cu impuls de tensiune de trăsnet (ITT), cu undă tăiată
- Încercarea cu impuls de tensiune de comutație
- Încercarea cu tensiune indusă (TI), fără măsurarea descărcărilor parțiale
- Încercarea cu tensiune indusă, cu măsurarea descărcărilor parțiale (TI-DP)



- **Încercarea la mers în gol**

- Măsurarea pierderilor la mers în gol (P_o), la tensiune nominală;
- Măsurarea curentului de mers în gol (I_o).

- **Încercarea de scurtcircuit**

- Măsurarea pierderilor la scurtcircuit (P_{sc});
- Măsurarea tensiunii de scurtcircuit (u_{sc}) și a impedanței de scurtcircuit (Z_{sc}).

- **Încercarea la încălzire**

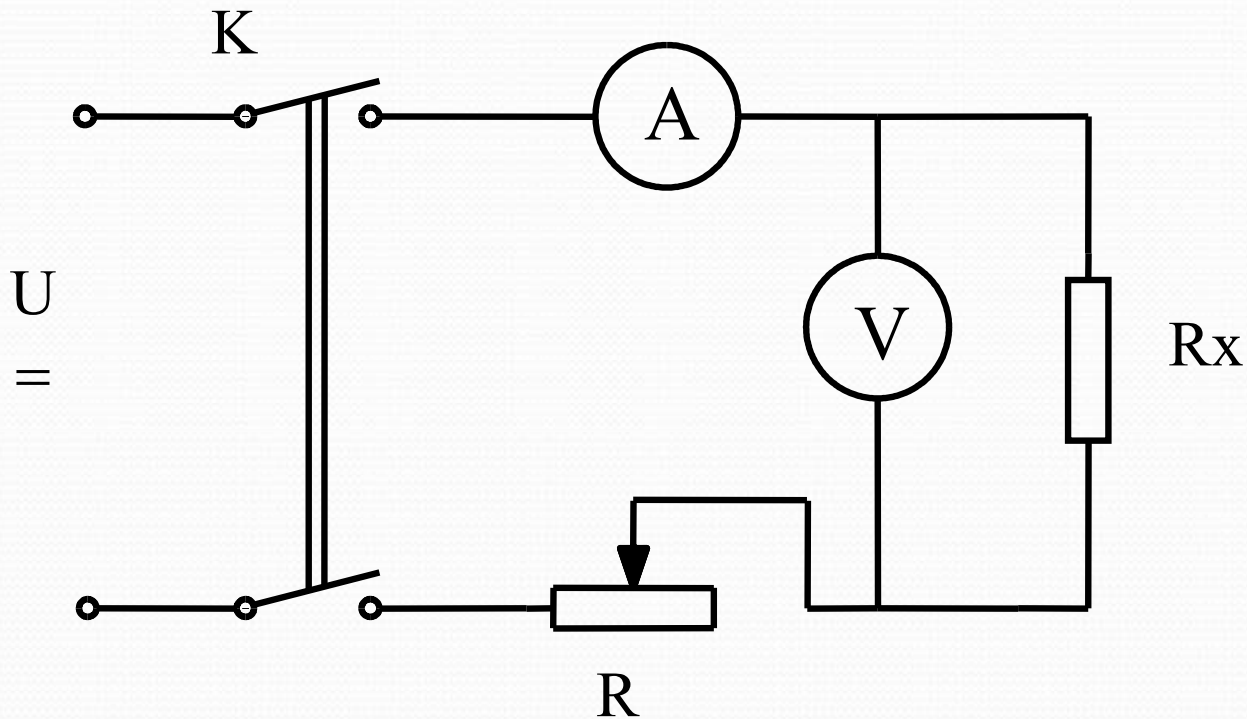
- **Verificarea stabilității la scurtcircuit brusc**



- **Alte verificări**

- Verificarea etanșeității la ulei a cuvei;
- Verificarea rezistenței mecanice a cuvei;
- Verificarea comutatorului de reglaj sub sarcină: verificarea funcționării, verificarea dielectrică a circuitelor auxiliare;
- Măsurarea puterii absorbite de motoarele pompelor și ventilatoarelor;
- Măsurarea armonicilor curentului de mers în gol;
- Măsurarea impedanței homopolare a înfășurărilor;
- Măsurarea nivelului de zgomot;
- Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice și a rigidității dielectrice a uleiului

1. Determinarea rezistențelor înfășurărilor în c.c.



- Metoda voltmetrului și ampermetrului

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

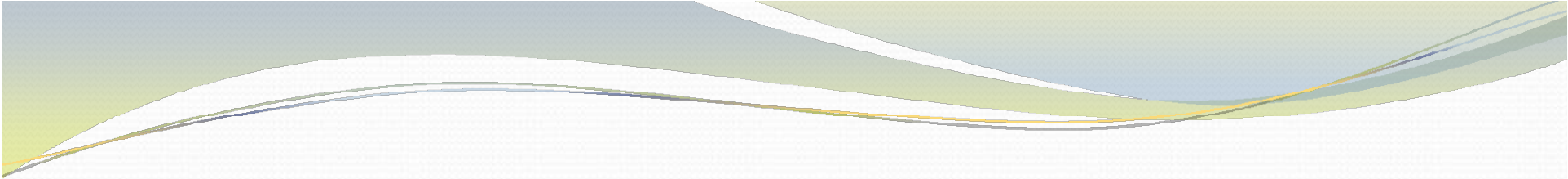
2. Determinarea raportului de transformare

- monofazat

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

- trifazat

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

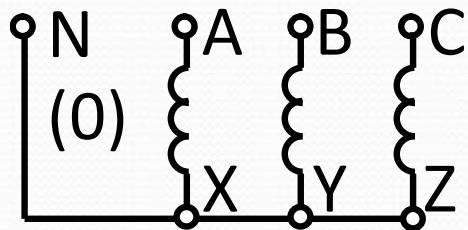
- 
- Metodele industriale pentru verificarea raportului de transformare sunt:
 - metoda celor două voltmetre;
 - metoda transformatorului etalon diferențial;
 - metoda compensării (metoda punții).

Indiferent de metoda folosită pentru determinarea raportului de transformare, una din înfășurări se alimentează, cealaltă fiind în circuit deschis (la gol).

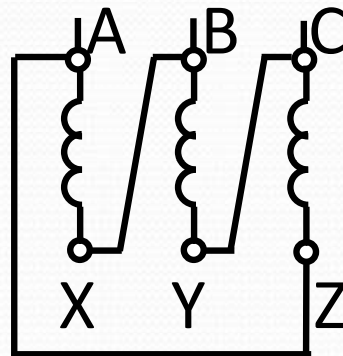
Valoarea tensiunii de alimentare la măsurarea raportului de transformare trebuie să fie cuprinsă între $(1-50)\% U_{1N}$.

Metoda compensării (metoda punții) este cea mai folosită datorită preciziei ridicate, a comodității și operativității pe care o prezintă.

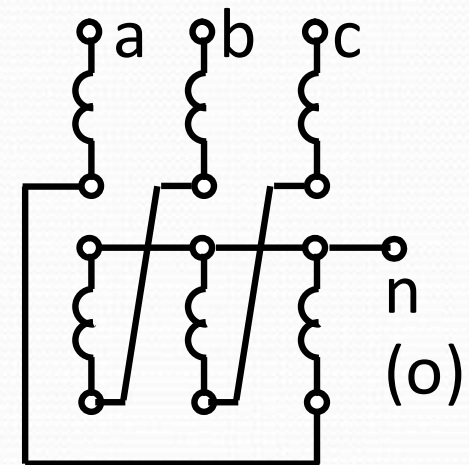
3. Verificarea schemei și grupei de conexiuni



Conexiunea stea – Y, y



Conexiunea triunghi – D, d



Conexiunea zig-zag – z

- Totalitatea legăturilor galvanice care se efectuează atât pe partea de I.T. cât și pe cea de J.T. formează o *schemă de conexiuni*.



Yy

Yd

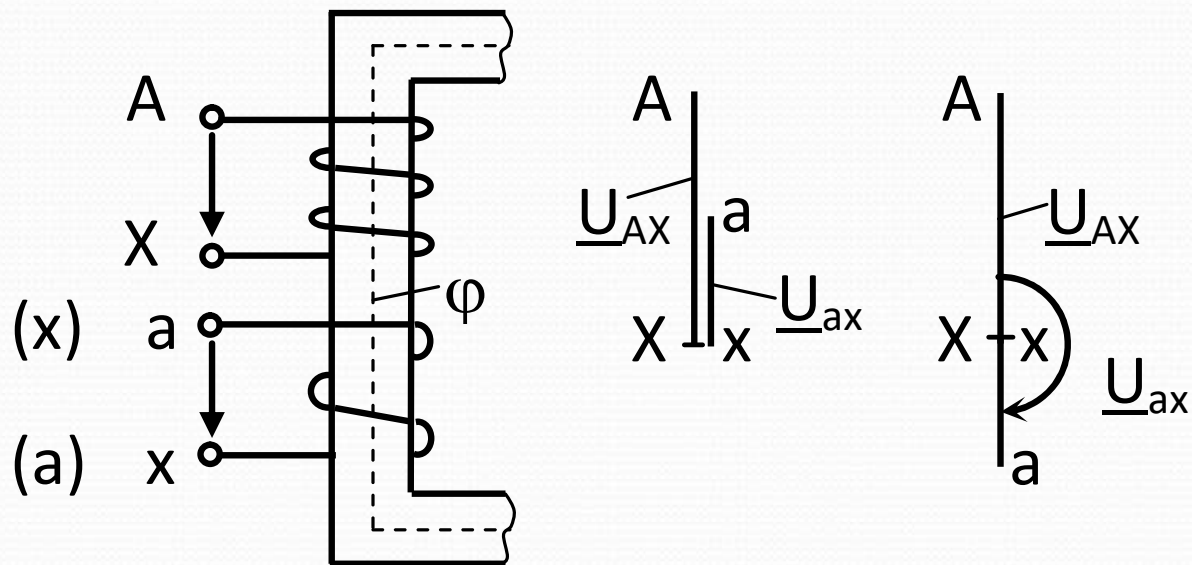
Yz

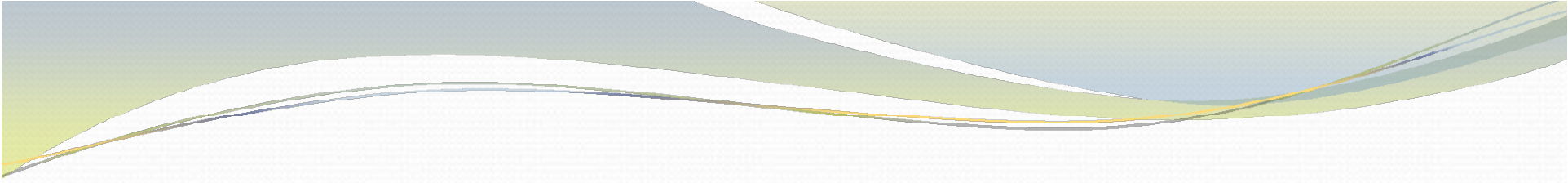
Dy

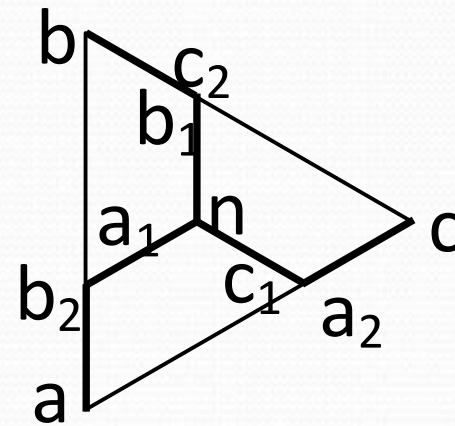
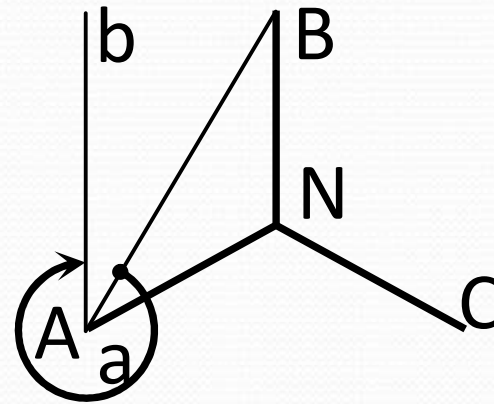
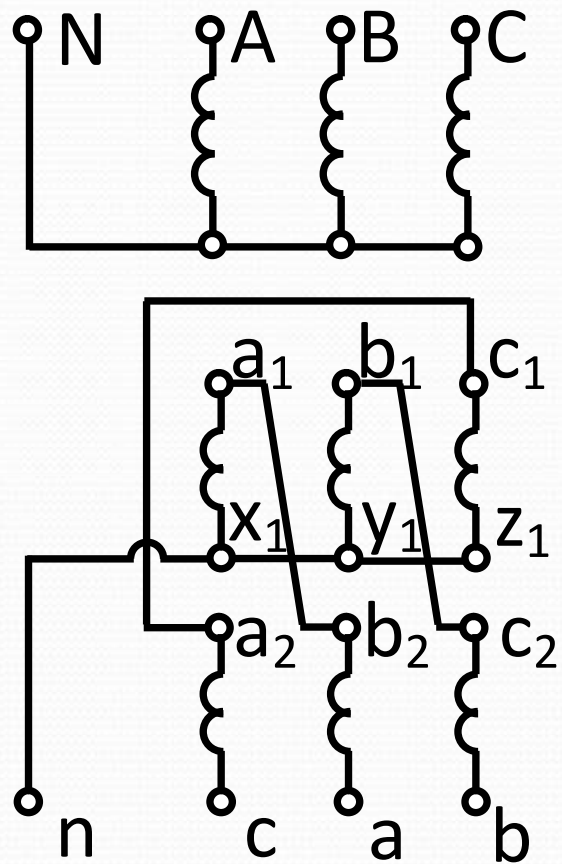
Dd

Dz

- În cadrul unei scheme de conexiuni se pot întâlni mai multe variante care diferă între ele prin unghiul dintre tensiunile omoloage de pe partea de J.T. și I.T.
- Acest unghi se ia pe diagrama fazorială de la tensiunea de pe partea de I.T. spre tensiunea omoloagă de pe partea de J.T., în sens orar și se numește *deplasare unghiulară* sau indice orar de cuplaj.



- 
- Deplasarea unghiulară se exprimă în multipli ai unghiului de 30° sau *ore* .
 - Schemele de conexiuni: Yy, Dd și Dz pot realiza deplasări unghiulare exprimate numai prin cifre pare: 2, 4, 6, 8, 10, 12, iar schemele: Yd, Dy și Yz pot realiza deplasări unghiulare exprimate prin numere impare: 1, 3, 5, 7, 9, 11.
 - Totalitatea schemelor care prezintă deplasări unghiulare exprimate prin aceeași cifră alcătuiesc o *grupă de conexiuni*.



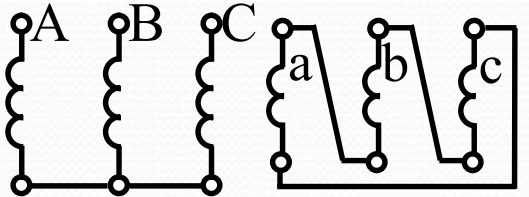
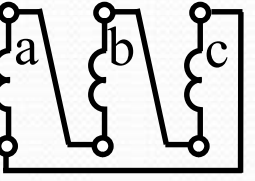
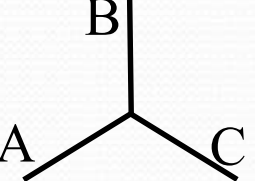
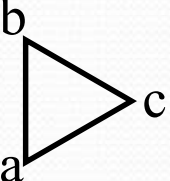
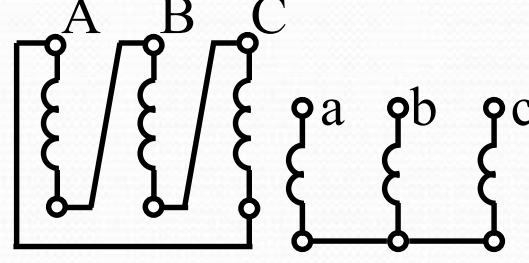
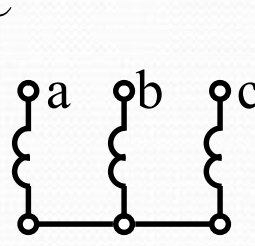
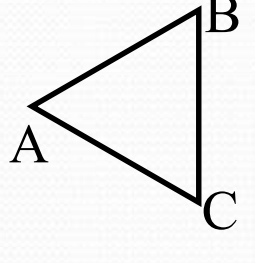
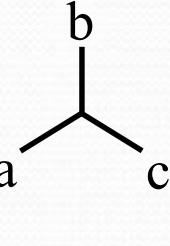
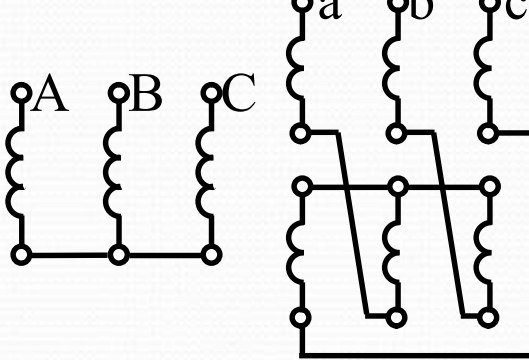
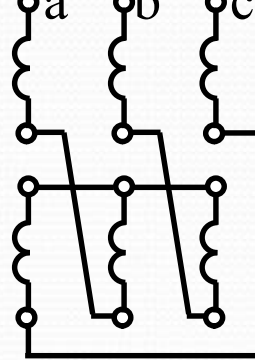
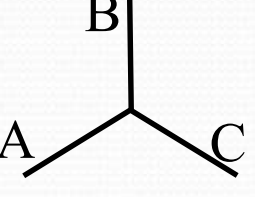
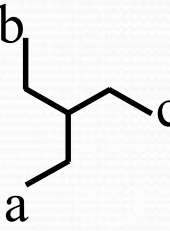
$Y_N Z_n 11$

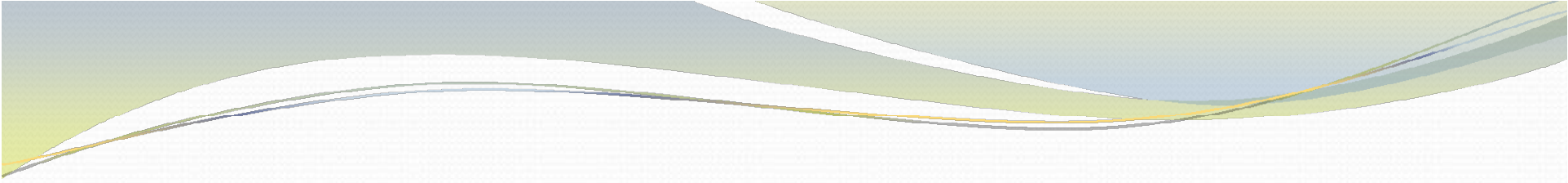
- În total se realizează un număr de 12 grupe de conexiuni, dintre care, în Europa, sunt standardizate 4 cele cu deplasările unghiulare de 12, 6, 5, 11 ore (notate cu A, B, C respectiv D),

Grupa	Simbol	Schema de conexiuni		Diagrama fazorială	
		IT	JT	IT	JT
A	Yy 12				
	Dd 12				
	Dz 12				

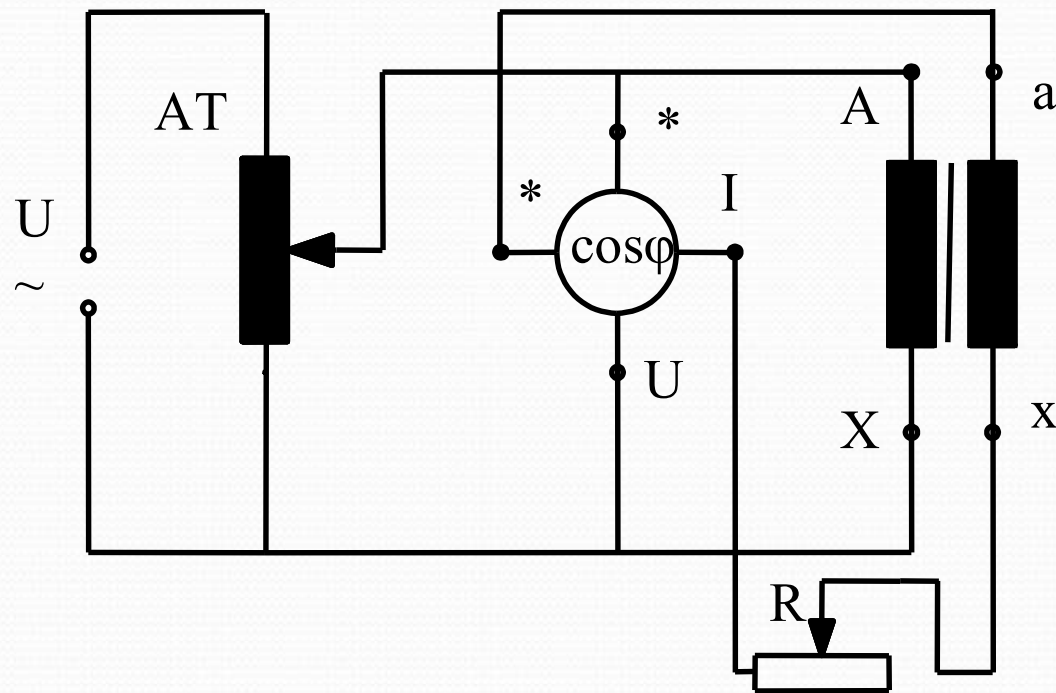
Grupa	Simbol	Schema de conexiuni		Diagrama fazorială	
		IT	JT	IT	JT
B	Yy 6				
	Dd 6				
	Dz 6				

Grupa	Simbol	Schema de conexiune		Diagrama fazorială	
		IT	JT	IT	JT
C	Yd 5				
	Dy 5				
	Yz 5				

Grupa	Simbol	Schema de conexiune		Diagrama fazorială	
		IT	JT	IT	JT
D	Yd 11				
	Dy 11				
	Yz 11				

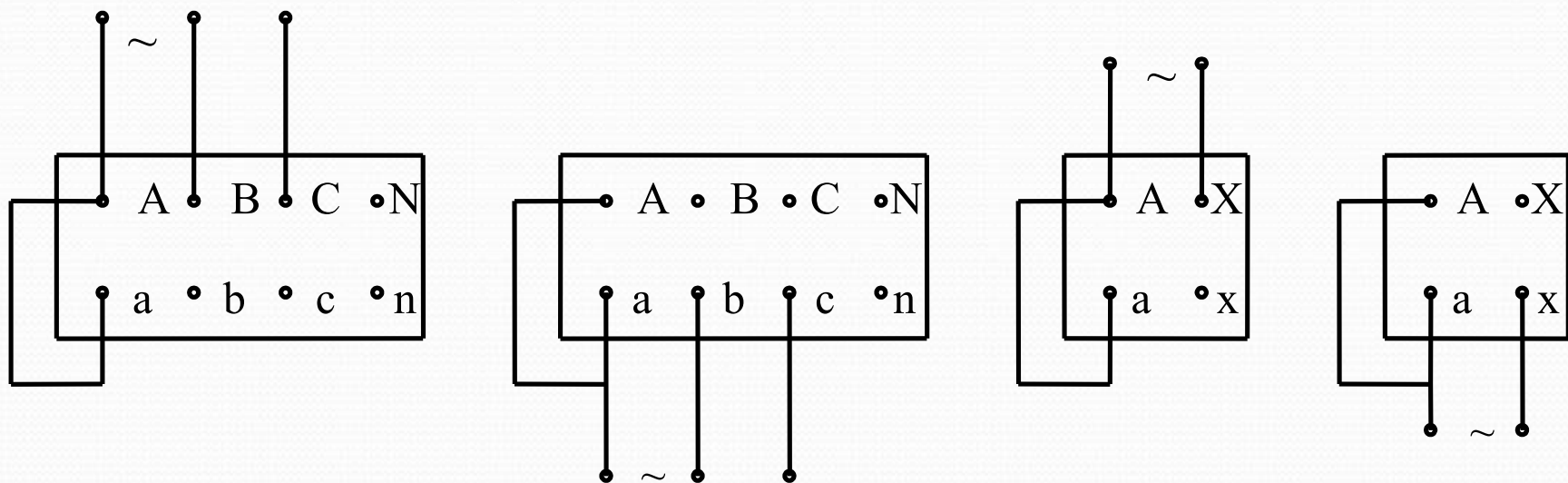
- 
- Verificarea grupei de conexiuni a transformatoarelor se poate face prin următoarele metode:
 - metoda compensării (metoda punții);
 - metoda directă (cu fazmetrul);
 - metoda celor două voltmetre;
 - metoda alimentării în curent continuu.

Metoda directă (cu fazmetrul)



- Prin folosirea unui cosfimetru cu patru cadrane și diviziuni din 30° în 30° notate de la 1 la 12, gradația va indica direct grupa de conexiuni.

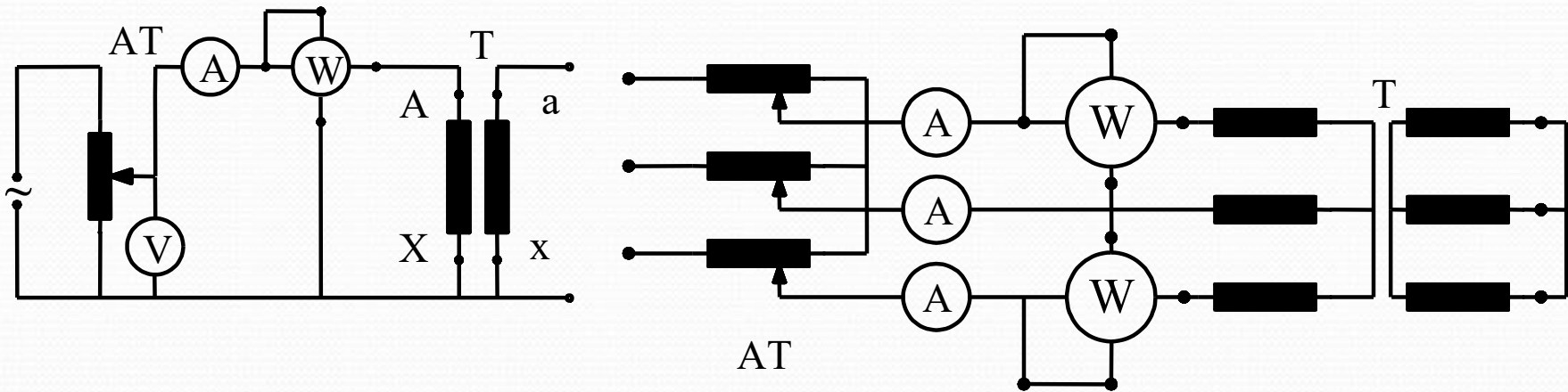
Verificarea grupei de conexiuni prin metoda celor două voltmetre



- Tensiunile măsurate se vor compara cu tensiunile de calcul date în tabel unde U_1 reprezintă tensiunea de linie măsurată pe partea de alimentare, iar $k=U_{AB}/U_{ab}$ reprezintă raportul de transformare.

Grupa de conex.	Decalajul unghiular al tens. (grade)	Denumire conex.	U_{b-B}	U_{b-C}	U_{c-B}	U_{c-c}
12	0	Yy-12; Dd-12 Dz-12	$U_i(k-1)$	$U_i\sqrt{1-k+k^2}$	$U_i\sqrt{1-k+k^2}$	$U_i(k-1)$
1	30	Yd-1; Dy-1 Yz-1	$U_i\sqrt{1-\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1-\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k^2}$	$U_i\sqrt{1-\sqrt{3}k+k^2}$
2	60	Yy-2; Dd-2 Dz-2	$U_i\sqrt{1-k+k^2}$	$U_i(k-1)$	$U_i\sqrt{1+k+k^2}$	$U_i\sqrt{1-k+k^2}$
3	90	Yd-3; Dy-3 Yz-3	$U_i\sqrt{1+k^2}$	$U_i\sqrt{1-\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k^2}$
4	120	Yy-4; Dd-4 Dz-4	$U_i\sqrt{1+k+k^2}$	$U_i\sqrt{1-k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k+k^2}$
5	150	Yd-5; Dy-5 Yz-5	$U_i\sqrt{1+\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k^2}$	$U_i\sqrt{1+\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+\sqrt{3}k+k^2}$
6	180	Yy-6; Dd-6 Dz-6	$U_i(k+1)$	$U_i\sqrt{1+k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k+k^2}$	$U_i(1+k)$
7	210	Yd-7; Dy-7 Yz-7	$U_i\sqrt{1+\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k^2}$	$U_i\sqrt{1+\sqrt{3}k+k^2}$
8	240	Yy-8; Dd-8 Dz-8	$U_i\sqrt{1+k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k^2}$	$U_i\sqrt{1-k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k+k^2}$
9	270	Yd-9; Dy-9 Yz-9	$U_i\sqrt{1+k^2}$	$U_i\sqrt{1+\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1-\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k^2}$
10	300	Yy-10; Dd-10 Dz-10	$U_i\sqrt{1-k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k+k^2}$	$U_i(k-1)$	$U_i\sqrt{1-k+k^2}$
11	330	Yd-11; Dy-11 Yz-11	$U_i\sqrt{1-\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1+k^2}$	$U_i\sqrt{1-\sqrt{3}k+k^2}$	$U_i\sqrt{1-\sqrt{3}k+k^2}$

4. Încercarea la scurtcircuit și stabilitatea la scurtcircuit a transformatoarelor



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.

$$P_{sc} = P_{scm} \cdot \left(\frac{I_N}{I_m} \right)^2$$

$$U_{sc} = U_{scm} \cdot \left(\frac{I_N}{I_m} \right)$$

monofazat

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

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

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

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

trifazat (stea)

$$R_{sc} = \frac{P_{sc}}{3I_{sc}^2}$$

$$X_{sc} = \frac{1}{I_{sc}} \sqrt{\frac{U_{sc}^2}{3} - \left(\frac{P_{sc}}{3I_{sc}}\right)^2}$$

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

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

Pentru conexiunea în triunghi a înfășurărilor primare, relațiile pentru rezistența și reactanța de pierderi vor fi înmulțite cu 3.



```
graph TD; A[Verificarea stabilității la scurtcircuit] --> B[verificarea stabilității termice]; A --> C[verificarea stabilității dinamice];
```

Verificarea stabilității la scurtcircuit

verificarea
stabilității termice

verificarea
stabilității dinamice

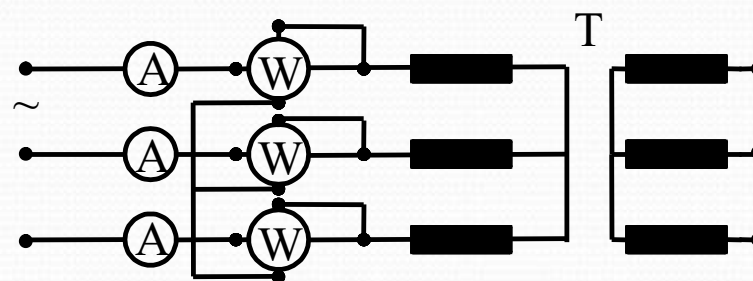
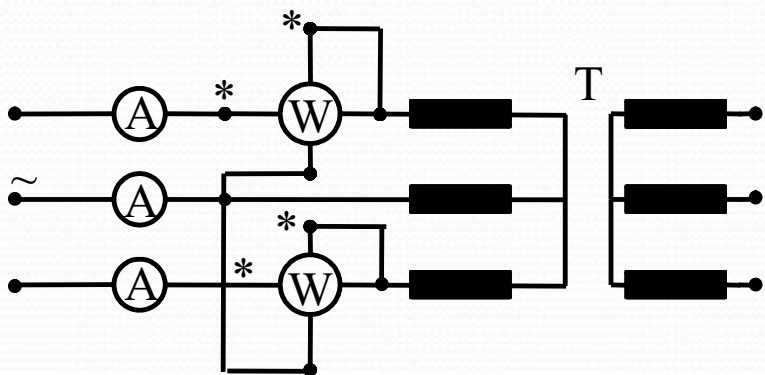
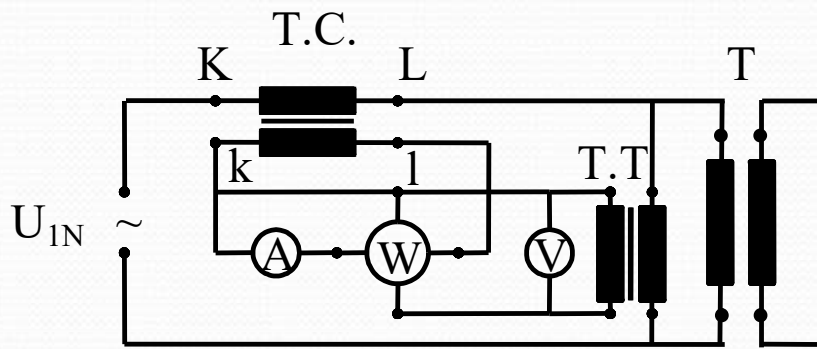
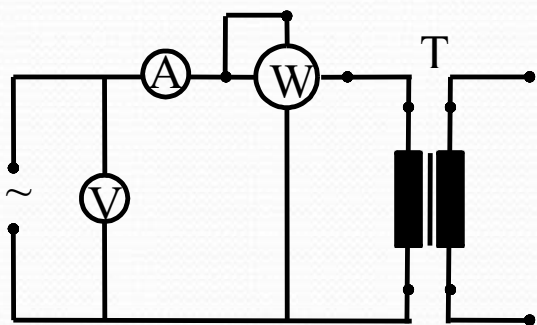
Considerând temperatura inițială a înfășurării θ_0 , ca fiind suma temperaturii mediului ambiant și a încălzirii înfășurării în regimul nominal, valoarea θ_1 de încălzire a înfășurării după trecerea curentului de scurtcircuit prin aceasta, nu trebuie să depășească valoarea θ_2

Tipul transformatorului	Clasa de temperatură a izolației	Valoarea θ_2 [°C]	
		Cu	Al
în ulei	A	250	200
uscat	A	180	180
	E	250	200
	B	350	200
	F și H	350	-

- **Stabilitatea dinamică la scurtcircuit** se verifică prin încercări sau prin referire la încercările făcute pe transformatoare de același tip constructiv.
- Înainte de efectuare încercării se vor calcula rezistențele și reactanțele înfășurărilor.
- Se determină astfel, amplitudinea primului vârf al curentului asimetric de încercat $\hat{i} = I_k \sqrt{2}$.
- În funcție de raportul X/R se adoptă coeficientul $k \sqrt{2}$

X/R	1	1,5	2	3	4	5	6	8	10	≥14
$k\sqrt{2}$	1,51	1,64	1,76	1,95	2,09	2,19	2,27	2,38	2,46	2,55

5. Încercarea la mers în gol



- Parametrii circuitului magnetic

$$P_0 = p_{Fe} + R_1 I_0^2 \cong p_{Fe} = p_H + p_T = p_0$$

- impedanța de magnetizare $\underline{Z}_m = -\underline{E}_1 / \underline{I}_0$ unde $E_1 \approx U_1$
deci $Z_m = U_1 / I_0$

- rezistența de magnetizare $R_m = p_{Fe} / I_0^2$

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



6. Măsurarea impedanței homopolare a înfășurărilor

- Impedanța homopolară se măsoară la frecvența nominală între bornele de linie scurtcircuitate și punctul neutru al unei înfășurări conectate în stea sau în zig-zag.

$$Z_0 = 3U/I$$

- De asemenea se va calcula curentul de fază și se va verifica în ce măsură conexiunea neutrului poate suporta acest curent.

ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



**ÎNCERCĂRILE
TRANSFORMATOARELOR**

7. Încercările dielectrice


8. Încercarea la încălzire a
transformatoarelor

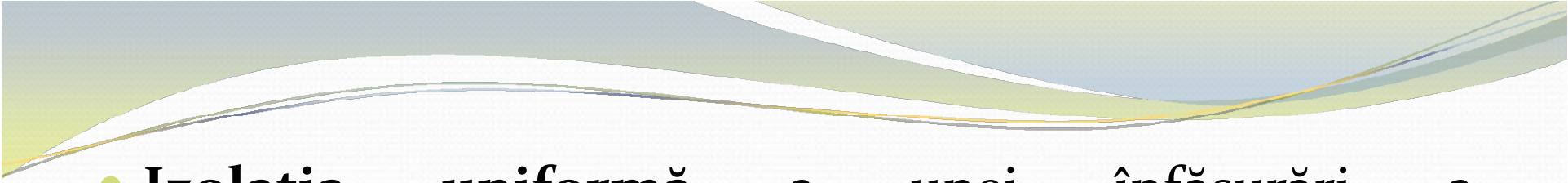
9. Defecte și regimuri
anormale de funcționare
ale transformatoarelor



Încercările dielectrice

- Nivelurile de izolație ale transformatoarelor de putere precum și metodele de încercări dielectrice fac obiectul STAS 1703/3-80.
- Încercările izolației trebuie efectuate la întreprinderea constructoare, transformatorul fiind aproximativ la temperatura ambiantă.
- Această verificare constă în următoarele încercări distincte:
 - verificarea rigidității dielectrice a uleiului de transformator
 - verificarea rigidității dielectrice a izolației transformatorului.

- 
- **Nivelul nominal de izolație** se definește ca fiind:
 - pentru transformatoarele cu tensiunea $U_m \leq 245$ kV: tensiunile nominale de ținere (între faze și pământ) la impuls de trăsnet și la încercarea de scurtă durată la frecvența industrială;
 - pentru transformatoarele cu tensiunea $U_m > 245$ kV nivelul nominal de izolație se definește în două moduri, în funcție de metoda de încercare aleasă:
 1. tensiunile nominale de ținere (între fază și pământ) la impuls de trăsnet și la încercarea de scurtă durată la frecvență industrială;
 2. tensiunile nominale de ținere (între fază și pământ) la impuls de trăsnet și la impuls de comutație.

- 
- **Izolația uniformă** a unei înfășurări a transformatorului este izolația unei înfășurări a transformatorului dimensionată în așa fel încât extremitățile înfășurării legate la borne să reziste la aceeași tensiune de încercare la frecvență industrială.
 - **Izolația neuniformă** a unei înfășurări a transformatorului este izolația unei înfășurări a transformatorului dimensionată în așa fel încât extremitatea înfășurării, prevăzută să fie legată direct sau indirect la pământ (borna de legare la nul sau de legare la pământ a înfășurării) să reziste la o valoare mai mică a tensiunii de încercare decât extremitatea dinspre rețea.



Măsurarea caracteristicilor izolației

- Măsurarea caracteristicilor izolației transformatoarelor 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 cu un megohmmetru care are o tensiune de cel puțin 2500V, cu o limită superioară de măsurare de cel puțin 10000M Ω .



Verificarea rigidității dielectrice a uleiului

Uleiul de transformator trebuie să îndeplinească următoarele calități:

- să fie complet deshidratat;
- temperatura de inflamare a uleiului să fie mai ridicată decât temperatura de regim a transformatorului (peste 140°C)
- să prezinte o evaporare cât mai redusă la temperatura de regim;
- să fie cât mai curat (să nu conțină substanțe în suspensie) și să nu depună gudroane;
- să prezinte un punct de congelare cât mai scăzut.

Încercările și verificările la care este supus uleiul de transformator

Nr. crt.	Denumirea probei	Condițiile de execuție a probei și valori admisibile
1.	Aspect	Examinarea vizuală a unei probe de ulei luată într-un pahar de 250 cm ³ : limpede
2.	Cărbune în suspensie	Examinarea se face vizual, în vasul aparatului, pentru determinarea rigidității dielectrice: lipsă. în cazul prezenței cărbunelui, uleiul se recondiționează fizic.
3.	Prezența apei în ulei	Examinarea se face prin metoda crepitării (pocniturilor) într-o eprubetă încălzită, la flacăra de gaze: nu trebuie să se audă pocnituri

Nr. crt.	Denumirea probei	Condițiile de execuție a probei și valori admisibile			
4.	Punctul de inflamabilitate Pensky-Martens	Se execută conform STAS 5488-80, în creuzet închis sau conform STAS 5489-80, în creuzet deschis (metoda Marcusson). Valorile minime admise, [°C]:			
		Ulei	STAS 5488-80	STAS 5489-80	
		Ulei nou și nou recondiționat	140	145	
		Ulei din exploatare	135	140	
5.	Punct de congelare	Se execută conform STAS 39-80. Valori admise, pentru ulei nou și nou recondiționat fizic, -40° C.			
6.	Aciditate organică (indice de neutralizare)	Se execută conform STAS 23-75. Valori admisibile:			
		Ulei	Valori maxime mg KOH/g		
		Nou, nou recondiționat fizic:			
		- neaditivat		0,03	
		- aditivat		0,06	
		Din exploatare în echipamente cu tensiunea:			
		≤20kV		0,50	
		35-110 kV		0,30	
		220-400 kV		0,20	

Nr. crt.	Denumirea probei	Condițiile de execuție a probei și valori admisibile	
7.	Impurități mecanice (substanțe insolubile în solvenți organici)	Determinările se fac conform STAS 33-78; lipsă. Această analiză se face atunci când probele electrice nu ies corespunzătoare și când uleiul are aspect necorespunzător	
8.	Stabilitate la oxidare	Proba se execută conform STAS 6798-83 și numai asupra uleiului nou, atunci când este necesară amestecarea a două uleiuri sau când există dubii asupra calității uleiului recepționat. Valorile trebuie să corespundă STAS 811-83 și anume:	
		Caracteristica	Valorile admise
		- indice neutralizare, mg KOH/g, maxim	0,30
		- gudroane, % maxim	0,10
- tangenta unghiului de pierderi la 90° C	0,13		

Nr. crt.	Denumirea probei	Condițiile de execuție a probei și valori admisibile	
9.	Tensiune interfacială apă-ulei electroizolant	Determinarea se face conform STAS 9654-74 și numai atunci când rezultatele analizei	
		Ulei	$\sigma_{25^{\circ}\text{C}} \text{ dyn/cm} = 10^{-3} \text{ N/m}$
		nou și nou recondiționat fizic	mm. 40
		ulei din exploatare	min. 20
10.	Conținutul de gaze în ulei	Proba se face de către un laborator specializat și servește ca metodă preventivă de urmărire în exploatare a transformatoarelor de mare putere (200-400 MVA) și foarte înaltă tensiune (110-400 kV).	
11	Conținutul de apă	Metoda Karl-Fischer. Determinarea se face conform STAS 7041-70. Limita maximă admisă la transformatoarele de 220-400 kV:	
		Ulei	Conținut de apă maxim, p.p.m. (părți per milion)
		Nou recondiționat fizic	10
		la punerea în funcțiune	20
	în exploatare	30	

Nr. crt.	Denumirea probei	Condițiile de execuție a probei și valori admisibile				
12.	Rigiditatea dielectrică	Se execută conform STAS 286-81. Temperatura minimă a uleiului pentru probe să fie de +10°C. Valorile măsurate trebuie să fie superioare următoarelor limite:				
		Ocazia măsurării	Rigiditatea dielectrică minimă (kV/cm) pentru tensiunea mare a transformatorului			
			6-35 kV	60-110 kV	220 kV	400 kV
		- înainte de umplere (nou și nou recondiționat fizic)	200	220	220	240
		- la 72 ore după umplere	180	200	220	240
		- la punerea în funcțiune	160	180	200	220
- în exploatare	120	160	180	200		

Nr. crt.	Denumirea probei	Condițiile de execuție a probei și valori admisibile				
13.	Tangenta unghiului de pierderi dielectrice	Se execută conform STAS 0799-81 la o temperatură a uleiului de 90 °C.				
		Ocazia măsurării	Valoarea maximă a tg la 90°C			
			6-35 kV	60-110kV	220kV	400 kV
		- înainte de umplere	0,005	0,005	0,005	0,005
		- la 72 ore după umplere	0,02	0,02	0,015	0,015
		- la punerea în funcțiune și după reparații în ateliere specializate	0,03	0,025	0,02	0,02
- în exploatare	0,20	0,15	0,10	0,07		



Măsurarea pierderilor dielectrice ale uleiului

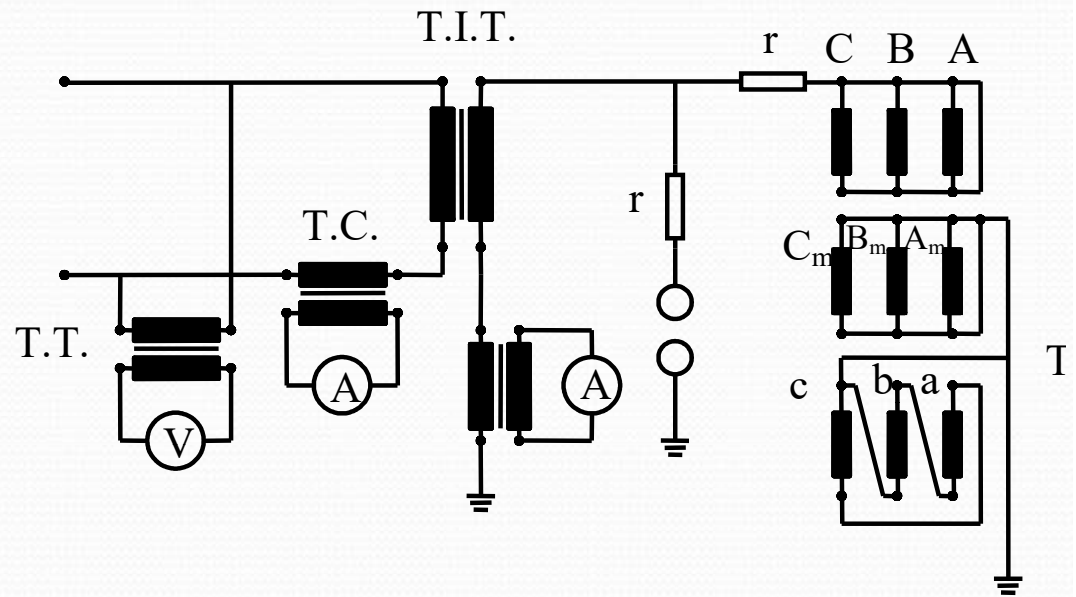
- Verificarea rigidității dielectrice a izolației transformatorului are drept scop încercarea rigidității dielectrice a izolației înfășurărilor transformatorului față de masă și față de alte înfășurări, cât și încercarea rigidității dielectrice a izolației între spirele aceleiași înfășurări.
- Aceasta constă în:
 - încercarea cu tensiune industrială aplicată,
 - încercarea cu tensiune indusă sinusoidală
 - încercarea cu impuls de tensiune.



Încercarea cu tensiune aplicată

- Încercarea cu tensiune aplicată se execută cu o tensiune alternativă monofazată având forma cât mai apropiată de cea sinusoidală și o frecvență convenabilă, dar nu mai mică decât 80 % din frecvența nominală.
- Încercările cu tensiune aplicată sinusoidală sunt:
 - - încercarea cu tensiune aplicată, când tensiunea se aplică înfășurării de încercat de la o sursă exterioară;
 - - încercarea cu tensiune indusă obținută chiar de la transformatorul de încercat.

- Tensiunea de încercare se va aplica timp de 60 secunde între înfășurarea încercată și toate capetele celorlalte înfășurări, circuitul magnetic, schela și cuva sau carcasa transformatorului, legate împreună la pământ.

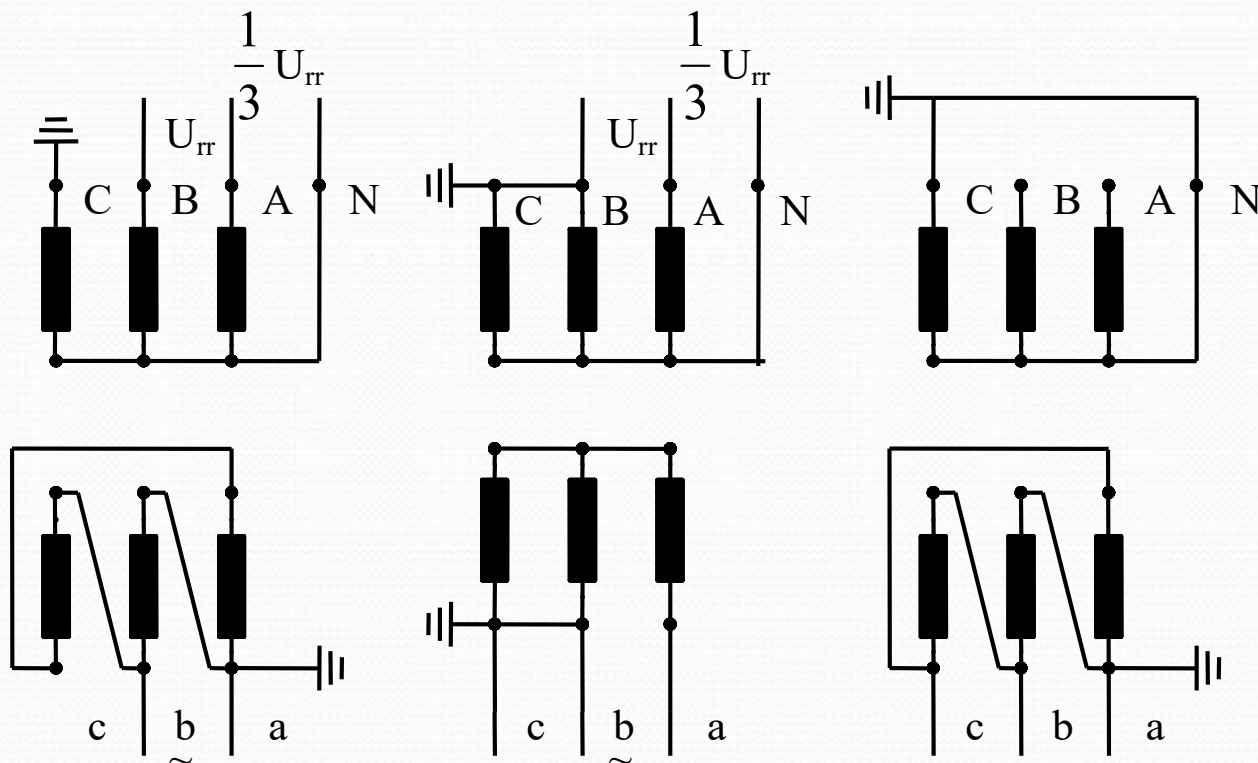


- Transformatorul de încercat este corespunzător dacă în timpul încercării nu s-au produs străpungeri sau conturnări ale izolației sesizate vizual, auditiv, din indicațiile aparatelor (V, A) sau din datele aparatelor de înregistrare.

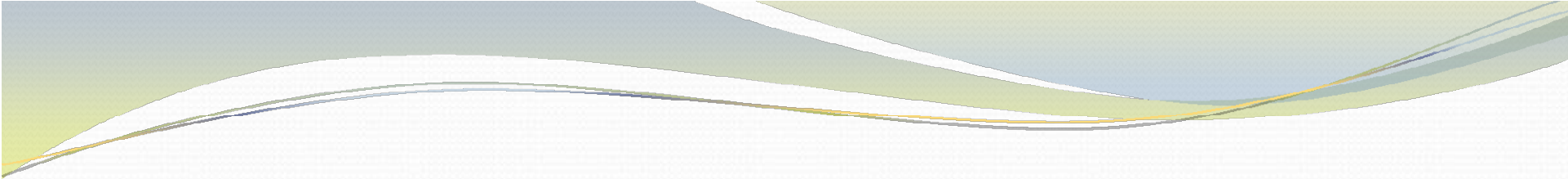


Încercarea cu tensiune indusă

- Transformatoarele de putere, pentru tensiuni foarte înalte (≥ 110 kV) sau unele transformatoare pentru tensiuni de 35 kV, izolația fiind parțial gradată, necesită tensiuni diferite pentru borna de linie și pentru borna de neutru, motiv pentru care nu se poate realiza încercarea cu tensiune aplicată.
- Încercarea izolației principale a înfășurării se va face cu tensiune indusă, în funcție de tipul izolației înfășurării și de mărimea tensiunii maxime U_m dintre faze.



- Scheme de încercare a transformatoarele trifazate având izolația înfășurării neuniformă, cu neutrul dimensionat să reziste la cel puțin o treime din tensiunea de încercare.

- 
- Rezultatul încercării se consideră corespunzător dacă:
 - nu s-a produs nici o scădere a tensiunii de încercare;
 - nivelul permanent al sarcinii aparente, măsurat în decursul ultimelor 29 minute din cele 30 minute de aplicare a tensiunii rămâne mai mic decât valoarea limită specificată pe toate circuitele de măsurare și nu crește sensibil și continuu în vecinătatea acestei limite.



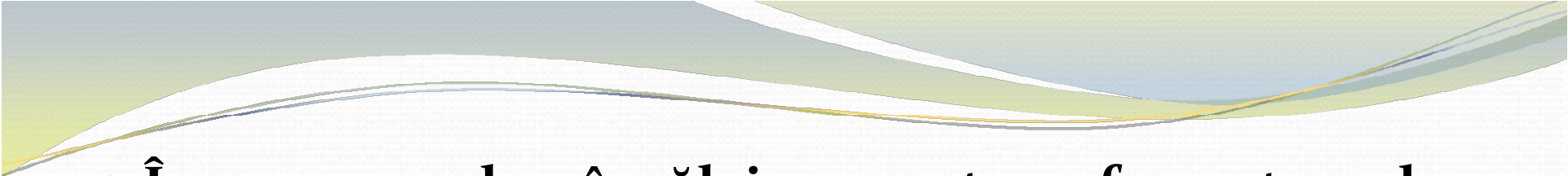
Încercarea cu impuls de tensiune

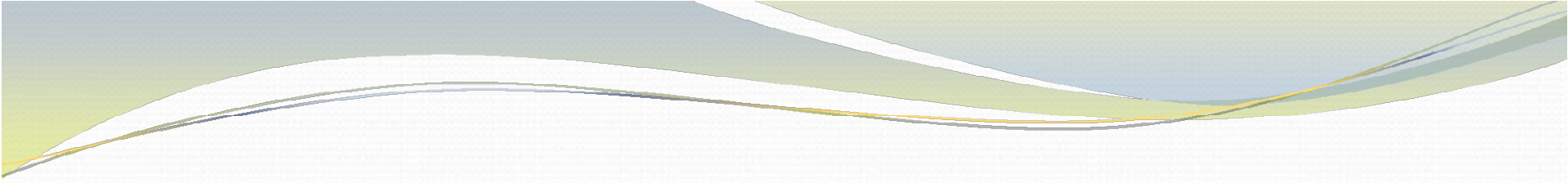
- Această încercare verifică capacitatea transformatorului de înaltă tensiune de a suporta solicitările datorate tensiunilor atmosferice:
 1. **Impulsul de tensiune de trăsnet** are durata frontului cuprinsă între mai puțin de $1 \mu\text{s}$ și cca $10 \mu\text{s}$;
 2. **Impulsul de tensiune de trăsnet plin** este unda de tensiune care nu se întrerupe printr-o descărcare disruptivă;
 3. **Impulsul de tensiune de trăsnet tăiat** este unda de impuls plină care se întrerupe brusc printr-o descărcare disruptivă provocând scăderea la zero a tensiunii.
 4. **Impulsul de tensiune de trăsnet normal** este impulsul de tensiune de trăsnet plin având $T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ și $T_2 = 50 \mu\text{s}$.



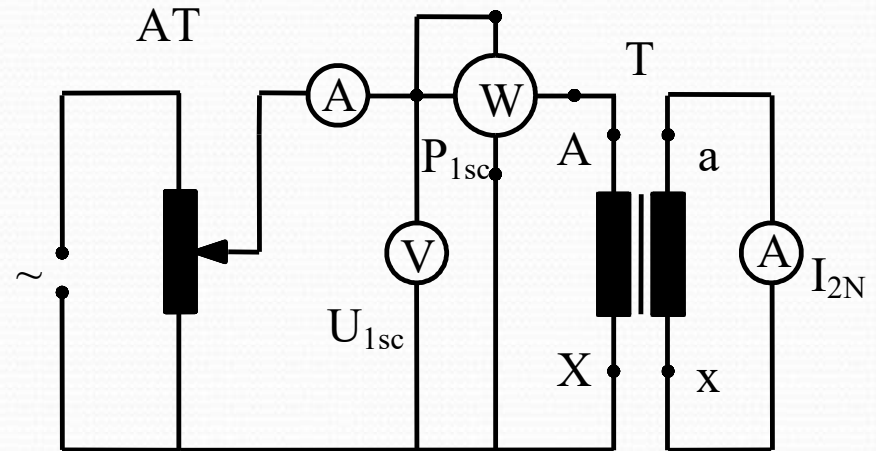
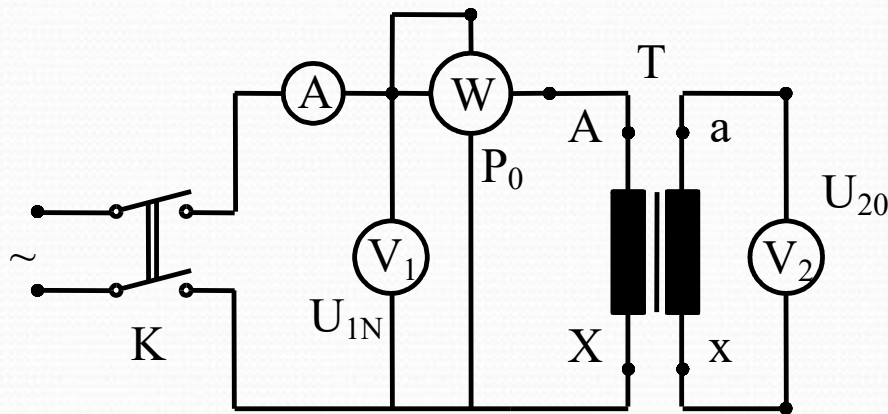
Încercarea la încălzire a transformatoarelor

- 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.
- Supraîncălzirea și fenomenele termice asociate ei determină limitarea puterii transformatoarelor prin necesitatea micșorării curenților prin înfășurări, în scopul evitării efectelor distructive datorate supratemperaturilor.

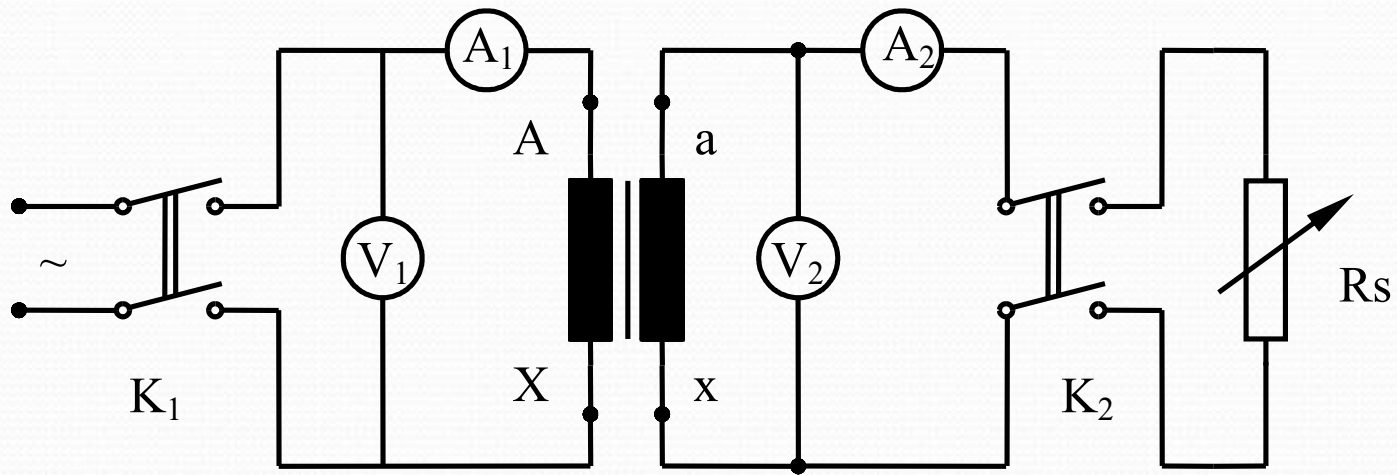
- 
- **Încercarea la încălzire a transformatoarelor uscate** se face cu circuitul magnetic excitat cu inducția obișnuită. Curentul de alimentare, folosit pentru încercare trebuie să fie menținut constant la o valoare cât mai apropiată de valoarea nominală și cel puțin la 90% din aceasta, iar încercarea trebuie urmărită până când încălzirea înfășurărilor va fi constantă.
 - **Încercarea la încălzire a transformatoarelor în ulei** cuprinde determinarea încălzirii uleiului în partea superioară și determinarea încălzirii fiecărei înfășurări. Puterea de alimentare trebuie să fie menținută constantă.

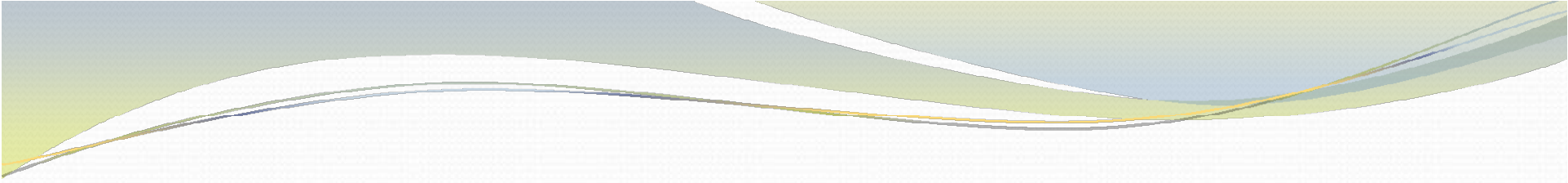
- 
- Încercarea transformatoarelor la încălzire, se poate face prin mai multe metode:
 - încercarea directă în sarcină,
 - metoda încercării la scurtcircuit,
 - încercarea în sarcină prin punerea în opoziție a două transformatoare identice.

- 1. Metoda încercării în scurtcircuit presupune determinarea temperaturii înfășurării și determinarea temperaturii medii a uleiului.



- **2. Metoda sarcinii directe** consideră transformatorul alimentat cu tensiunea U_{1N} încărcat la un curent de sarcină I_2 nu mai mic de $0,9I_{2N}$



- 
- **3. Metoda opoziției** utilizează două transformatoare, din care unul este transformatorul încercat. Acestea sunt conectate în paralel și alimentate de la tensiunea nominală a transformatorului încercat. Folosind raporturi de transformare diferite sau o tensiune injectată, se obține curentul nominal în transformatorul încercat.



Defecte și regimuri anormale de funcționare ale transformatoarelor

- **1 Supraîncălzirea transformatorului**

- Transformatorul este supraîncărcat.
- Temperatura din încăperea transformatoarelor este prea ridicată.
- Nivelul uleiului în transformator este foarte scăzut.
- Defectele interioare ale transformatorului care provoacă încălzirea uleiului.



- **2 Zgomot continuu anormal în transformator**

- s-a slăbit strângerea tolelor miezului
- s-a slăbit strângerea pachetelor de tole
- vibrează tolele de capăt ale miezului
- s-au slăbit șuruburile care fixează capacul transformatorului
- transformatorul este supraîncărcat
- scurtcircuite între faze între spire
- transformatorul funcționează cu tensiune ridicată

- **3 Zgomote intermitente în interiorul transformatorului**

- a avut loc o conturnare
- s-a întrerupt legătura cu pământul



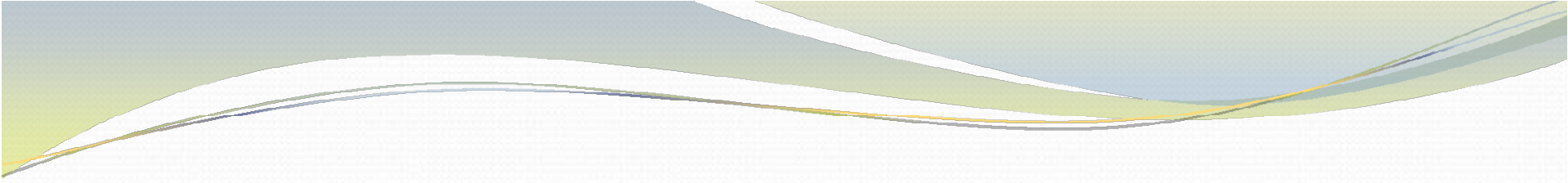
- **4. Funcționarea protecției prin releul de gaze (Buchholz)**

- în interiorul transformatorului au apărut defecte mici, care duc la degajări slabe de gaze;
- în timpul umplerii transformatorului cu ulei a rămas aer în transformator;
- nivelul uleiului este scăzut din cauza scăderii temperaturii sau datorită pierderilor de ulei.



- **5. Tensiune indusă anormală în circuitul secundar al transformatorului**

- Tensiunile de fază din circuitul secundar sunt egale la funcționarea în gol, dar diferă mult în sarcină, cu toate că tensiunile din circuitul primar sunt normale.
 - există un contact imperfect la una din bornele transformatorului.
 - este întrerupt circuitul primar al transformatorului trifazat cu coloane, conectat după schema triunghi-stea sau triunghi-triunghi.

- 
- Tensiunile secundare diferă mult la funcționarea în gol față de tensiunile secundare la funcționarea în sarcină, deși tensiunile primare sunt egale.
 - s-a inversat sfârșitul cu începutul la o fază a înfășurării secundare legate în stea;
 - există o întrerupere în circuitul primar al transformatorului conectat după schema stea-stea. În acest caz, suma fazorială a celor trei tensiuni de linie din circuitul secundar nu este nulă;
 - există o întrerupere în circuitul secundar al transformatorului, în cazul conectării în stea-stea sau triunghi-stea. În acest caz, două din tensiunile de linie sunt nule.

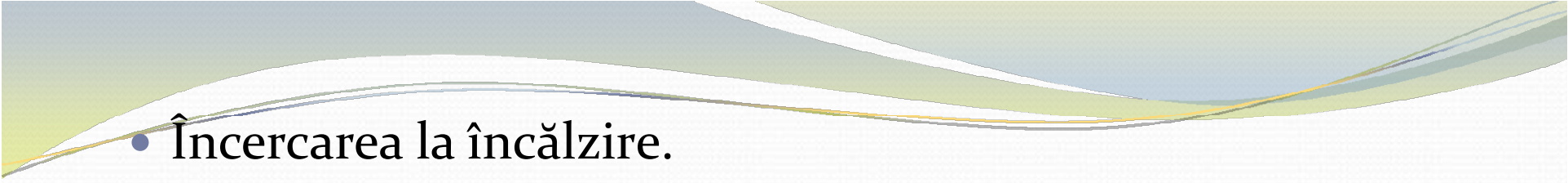
ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR DE CURENT CONTINUU

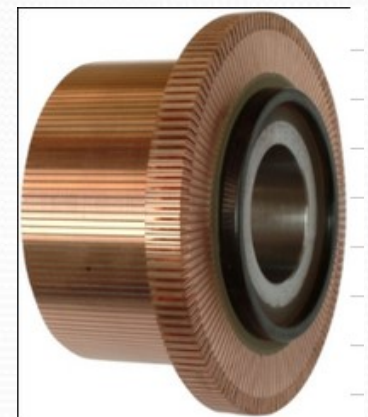
- **Programul de încercări pentru mașinile de curent continuu**
 - Verificarea tehnică generală.
 - Măsurarea rezistenței de izolație
 - Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu
 - Determinarea sensului de rotație
 - Ridicarea caracteristicii de funcționare în gol
 - Determinarea curentului de excitație la funcționarea în gol
 - Determinarea turației la funcționarea în gol la motoare

- 
- Încercarea la încălzire.
 - Ridicarea caracteristicilor în sarcină la generatoare.
 - Ridicarea caracteristicilor în sarcină la motoare.
 - Verificarea comutației și determinarea zonei de comutație fără scântei
 - Determinarea pierderilor și randamentului.
 - Încercarea la suprasarcină de curent.
 - Încercarea la suprasarcină de cuplu, la motoare.
 - Încercarea la supraturație.
 - 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

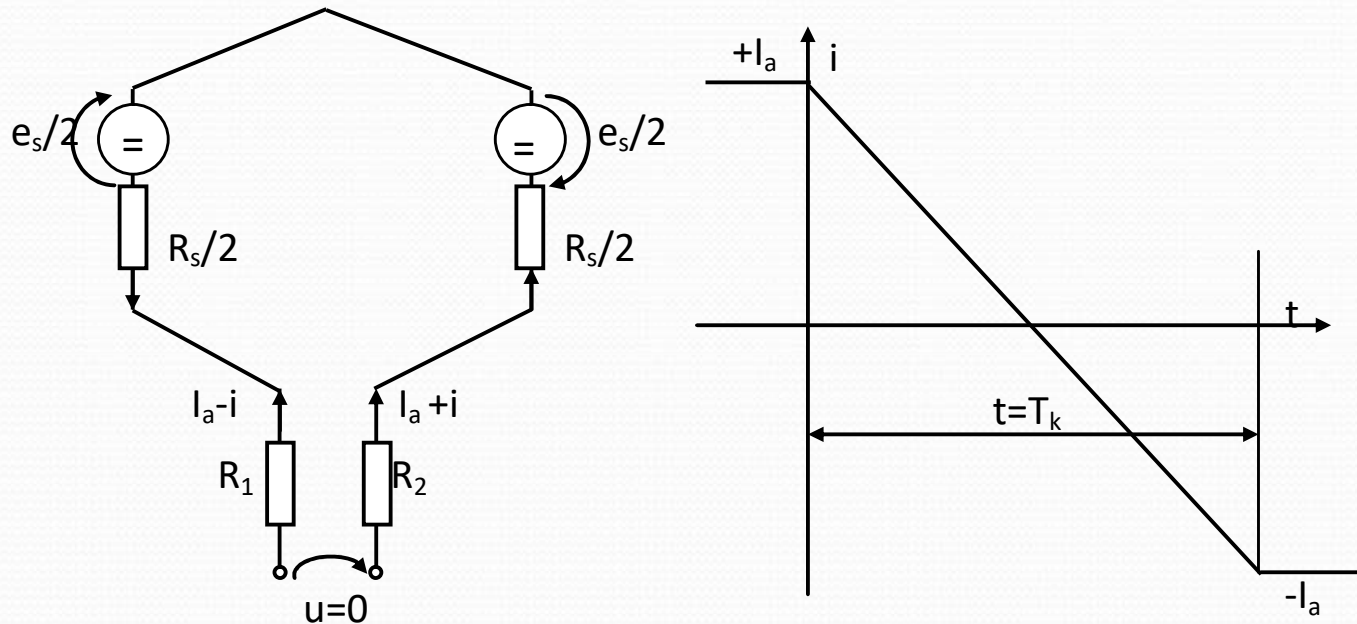
Verificarea suprafeței colectorului

- Condiții:


- colectorul să nu prezinte bătăi;
- generatoarele suprafeței de lucru a colectorului să fie liniare;
- izolația dintre lamele să nu depășească în afară suprafața de lucru a colectorului;
- suprafața de lucru a colectorului trebuie să fie perfect curată,
- lamelele de colector să nu prezinte muchii ascuțite, bavuri,
- spațiile dintre lamelele de colector să fie perfect curate.



Studiul comutației mașinii de curent continuu



- Comutația reprezintă ansamblul de fenomene care însoțesc trecerea secțiunilor înfășurării indusului, în timpul funcționării mașinii, dintr-o cale de curent în calea de curent următoare.

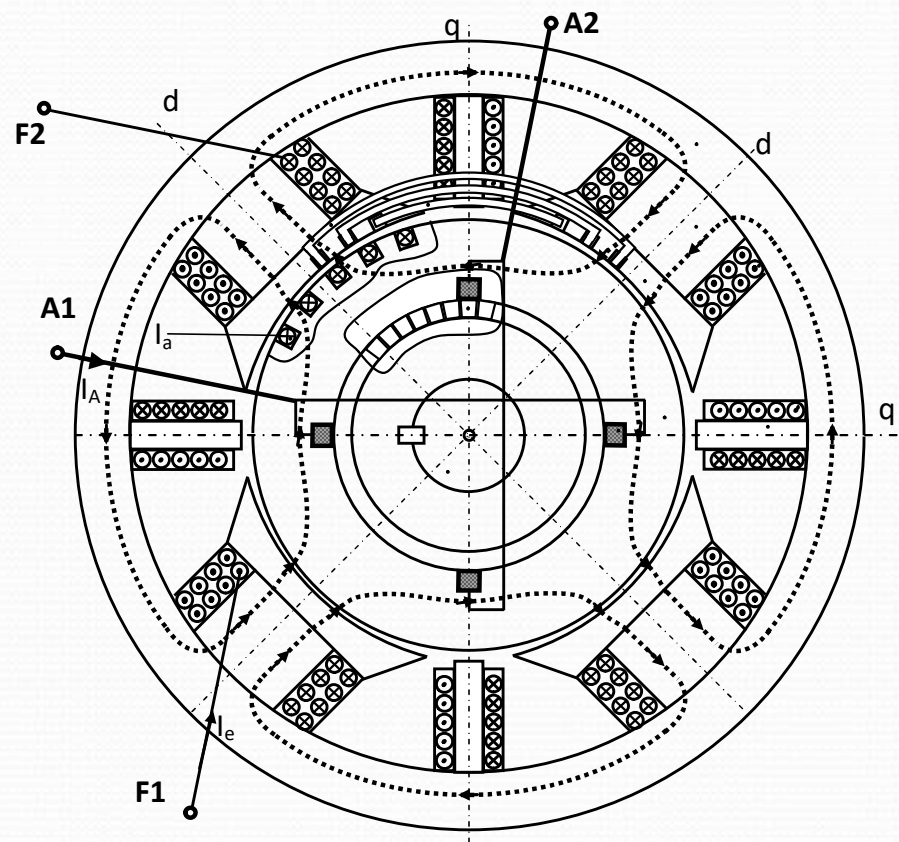
- 
- Principiul de bază în studiul comutației va urmări:
 - să abordeze studiul experimental al comutației în asigurarea condițiilor corecte de funcționare a mașinii;
 - să evidențieze și să evalueze un număr maxim de mărimi electrice și magnetice care participă la procesul de comutație.
 - Condițiile corecte de funcționare sunt următoarele:
 - distribuția spațială a inducției câmpului de comutație și a câmpului principal din întrefier să fie identică ca formă și valoare sub polii de același tip;
 - asigurarea axialității periilor și a unei presiuni identice pe acestea;
 - amplasarea corectă a periilor în axa neutră geometrică a mașinii

Evaluarea scânteilor la colector	
Gradul de scânteiere	Caracteristica scânteierii
1	- lipsesc scânteile (comutație "întunecată")
1 ¼	- scânteii slabe punctiforme pe o mică parte a periilor la aproximativ un sfert din numărul total al periilor
1 1/2	- scânteii slabe la aprox. jumătate din numărul total de perii
2	- scânteii sub cea mai mare parte din suprafața periei, la majoritatea sau la toate periile
3	- scânteii puternice la toate periile, nepermise la o funcționare de durată

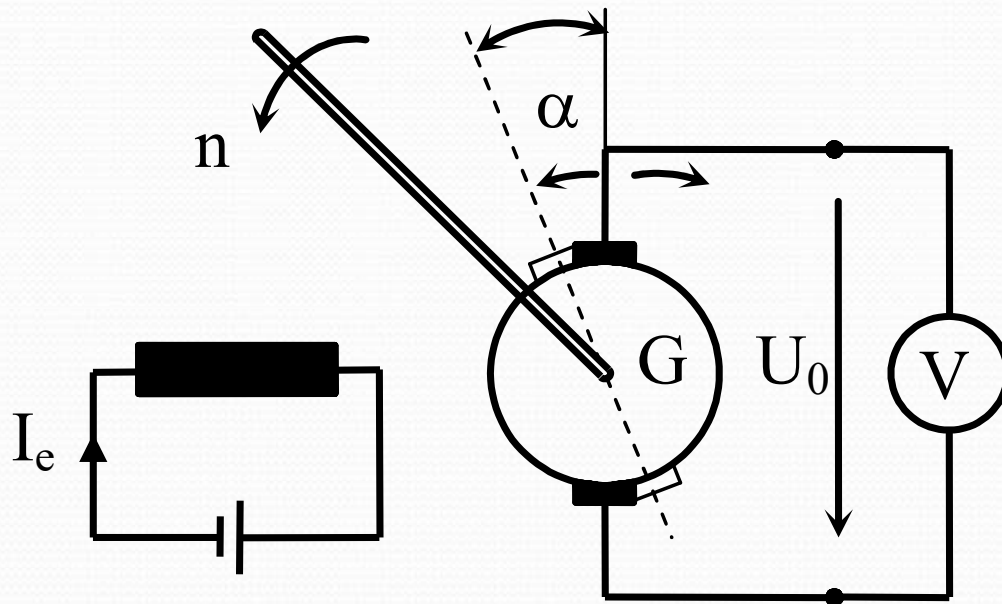
- Ca metode ce permit verificarea experimentală a comutației la mașina de curent continuu sunt:
 - încercarea la suprasarcină de curent de scurtă durată;
 - determinarea zonei comutației fără scânteii.

Așezarea periilor în axa neutră

- Prin axă neutră, la mașinile de curent continuu, se înțelege acea poziție a periilor (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.



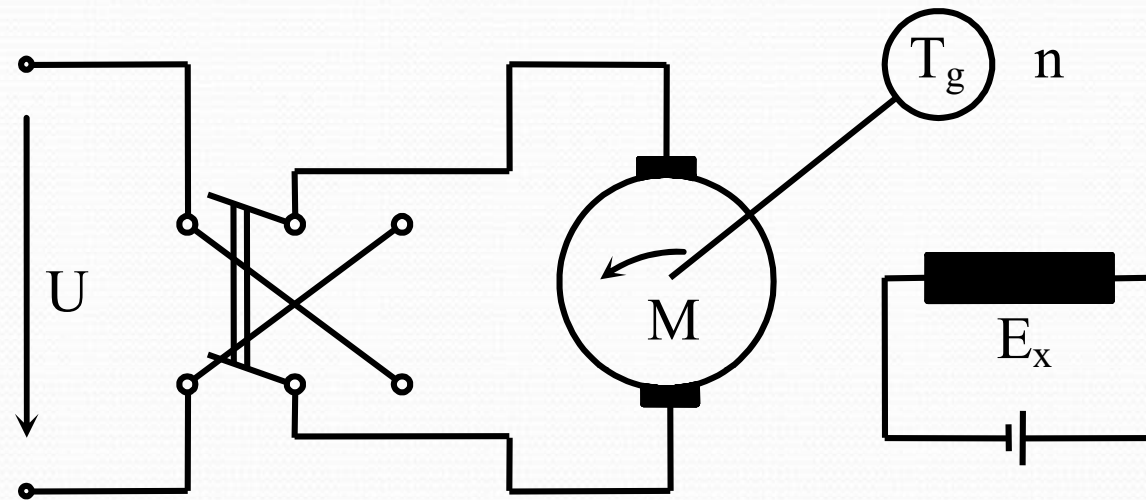
Metoda tensiunii maxime induse ca generator



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

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

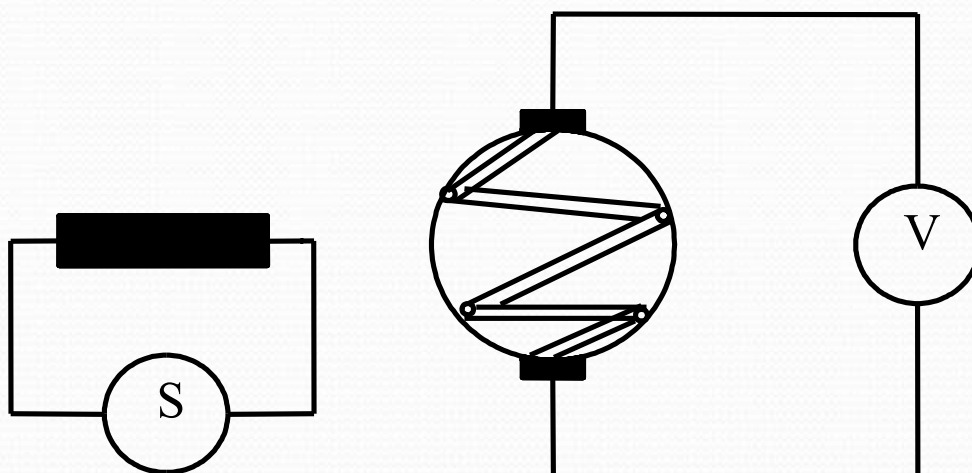
Metoda vitezelor egale ca motor



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

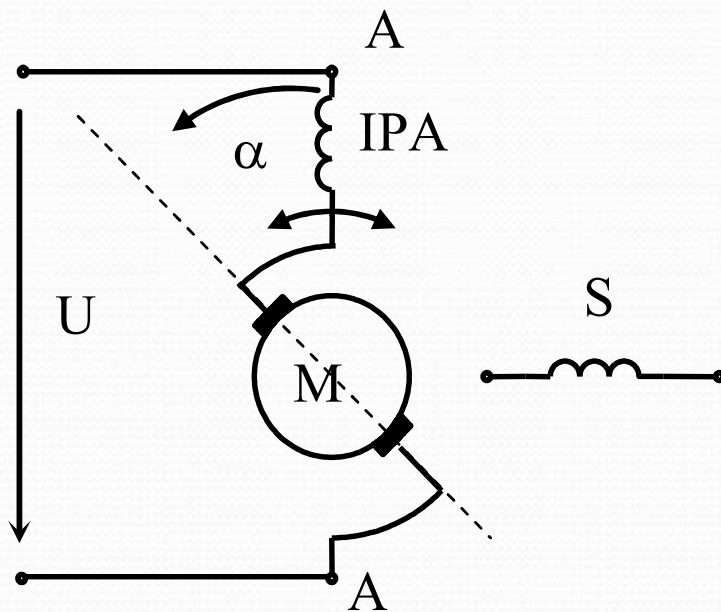
- Așadar, o poziționare aproximativă a periilor în axa neutră se poate realiza dacă se caută situația $I_{A0} = \text{minim}$

Metoda alimentării cu curent variabil



- Se urmărește calarea periilor în așa fel încât tensiunea indusă la perii să fie nulă

Metoda alimentării indusului și polilor auxiliari



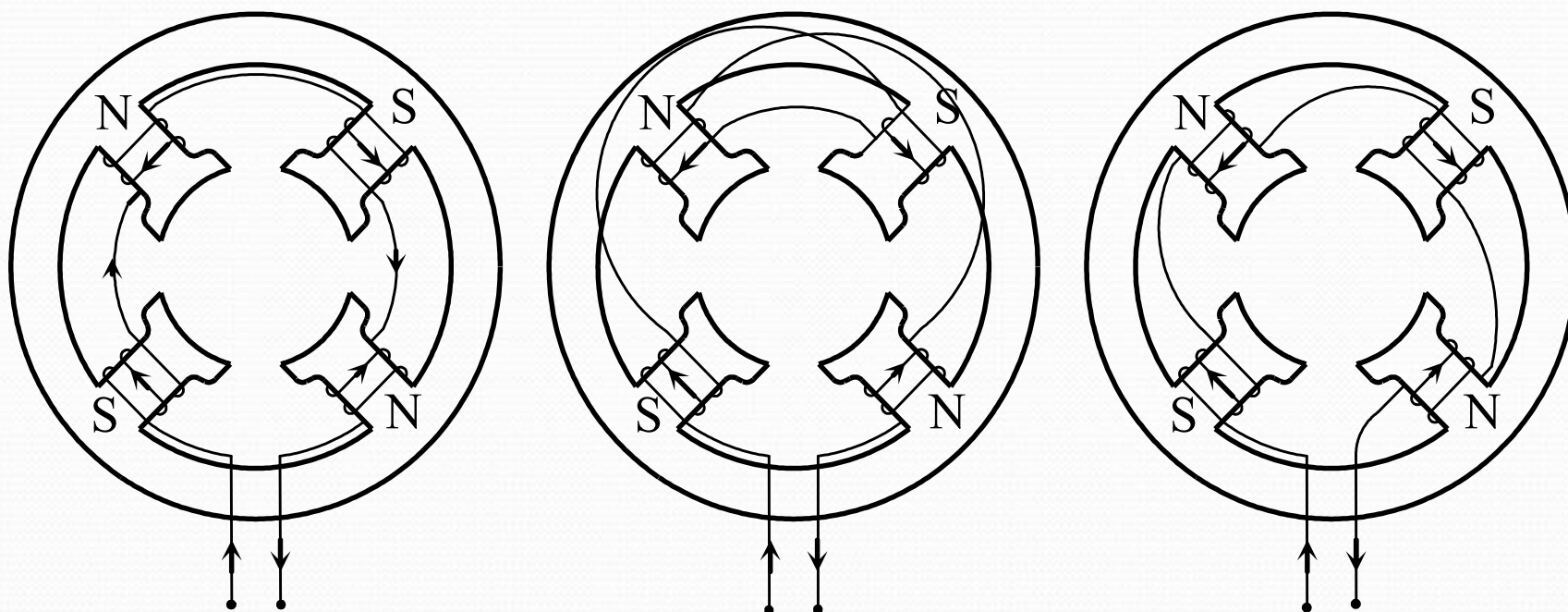
$$M \approx p \cdot L_{AE} \cdot I_A^2 \cdot \sin \alpha$$

- Se urmărește calarea colierului port-perii în poziția pentru care rotorul rămâne imobil.

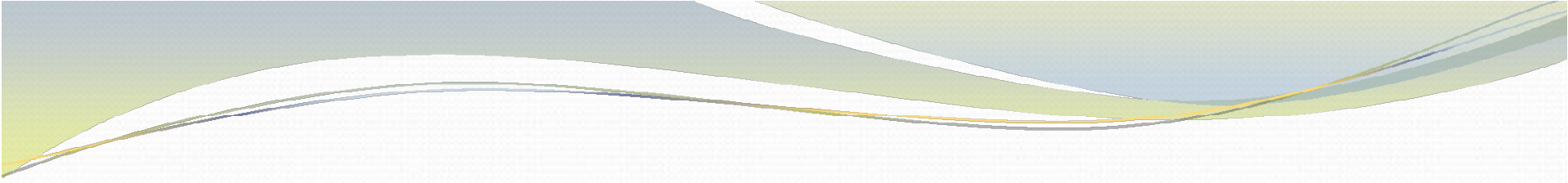


Verificarea conexiunilor diferitelor părți ale înfășurărilor

- Mașinile de curent continuu prezintă cele mai complicate și variate conexiuni interne ale înfășurărilor.
- Majoritatea erorilor de conectare, făcute la asamblarea mașinilor de curent continuu, privesc conexiunile din interiorul sistemului magnetic.



- Bobinele polilor auxiliari se vor conecta între ele astfel încât să formeze la fiecare doi poli alăturați, polarități opuse.

- 
- Verificarea corectitudinii conexiunilor acestor înfășurări se poate face prin una din următoarele metode:
 - verificarea sensului de trecere a curentului prin înfășurare;
 - metoda acului magnetic;
 - metoda bobinei de probă.

Verificarea corectitudinii conexiunii înfășurărilor în ansamblu

- Bornele înfășurărilor Mcc se notează astfel:
 - **bornele înfășurărilor principale:**
 - A - indus;
 - B - poli auxiliari;
 - C – compensare;
 - **bornele înfășurărilor de excitație:**
 - D - derivație;
 - E - serie;
 - F – separată;
 - **bornele înfășurărilor suplimentare:**
 - H - pentru axa longitudinală, coaxială cu axa electrică a periilor;
 - G - pentru axa transversală (normală pe axa electrică a periilor).

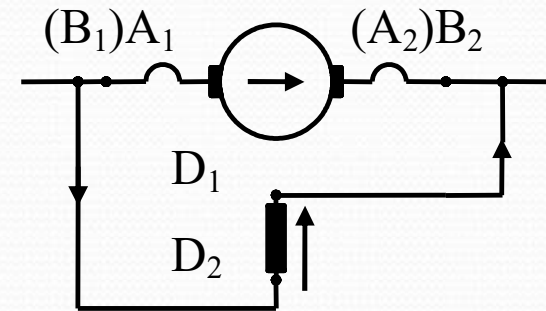
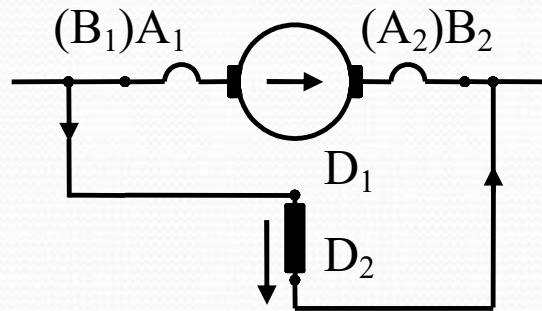
- **Ordinea de notare si conectare a bornelor**

Motor

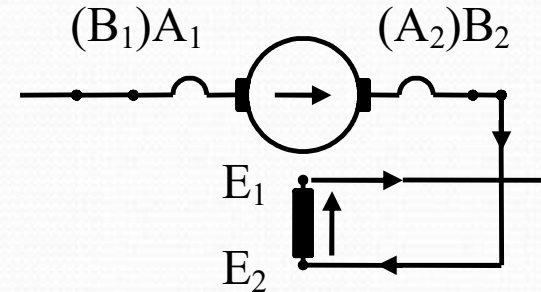
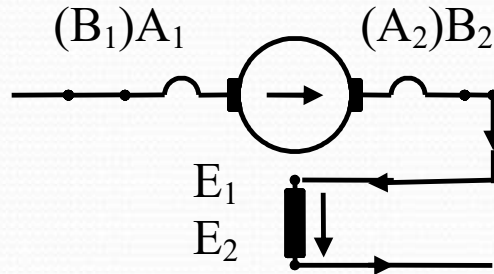
Rotire dreapta

Rotire stânga

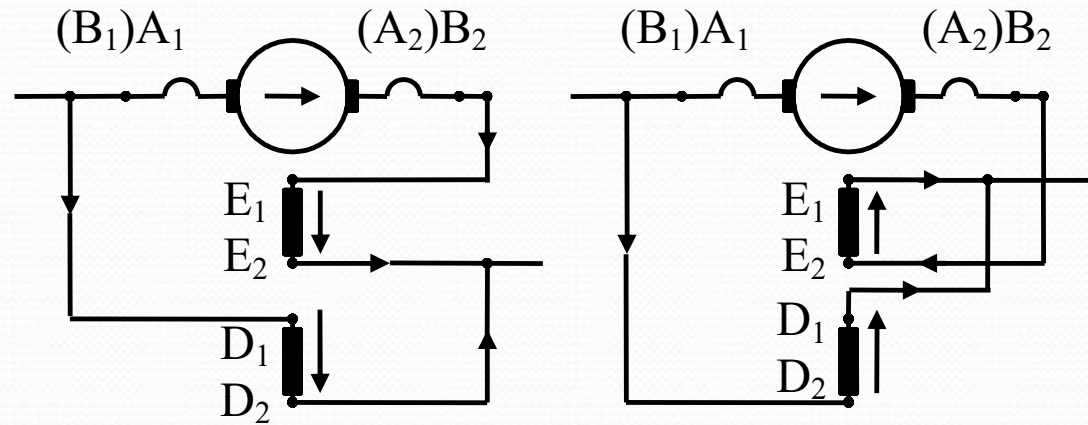
Excitație
derivație



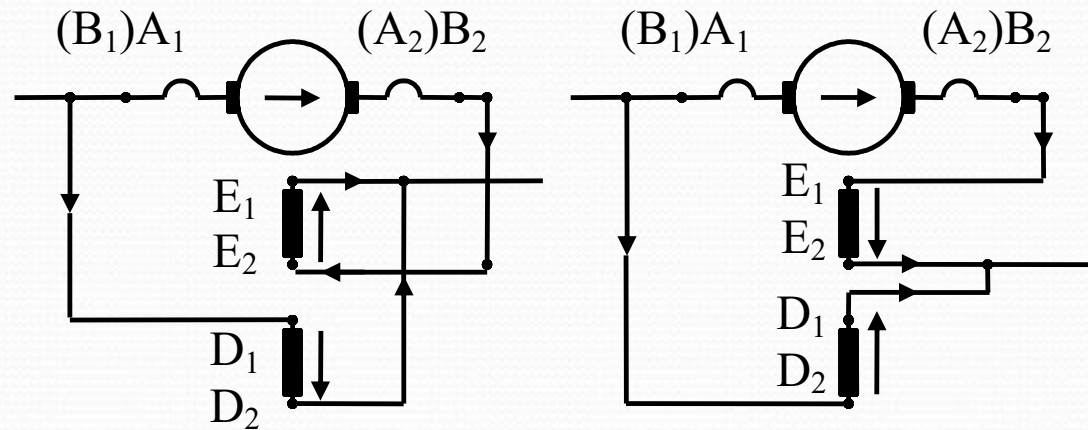
Excitație
serie



Excitație mixtă
adițională



Excitație mixtă
diferenție

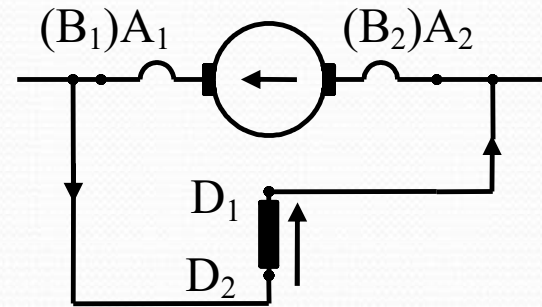
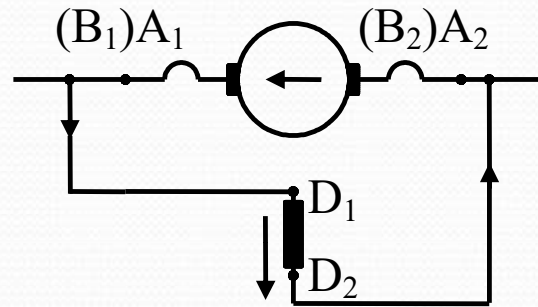


Generator

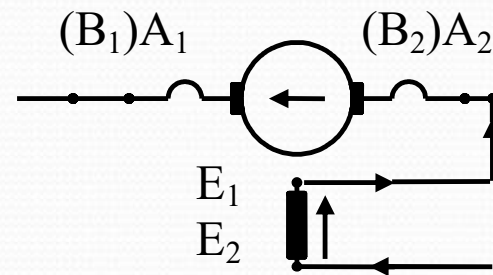
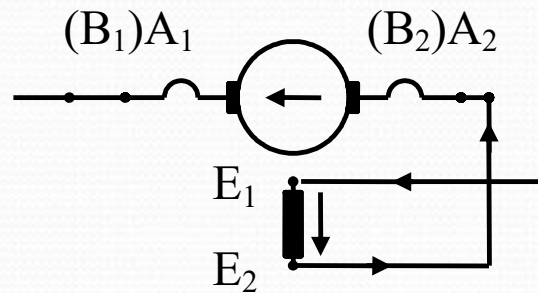
Rotire dreapta

Rotire stânga

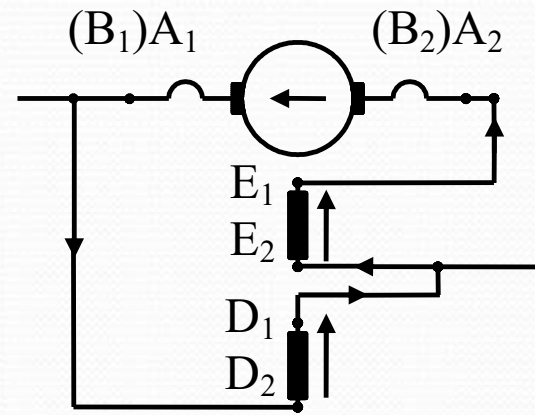
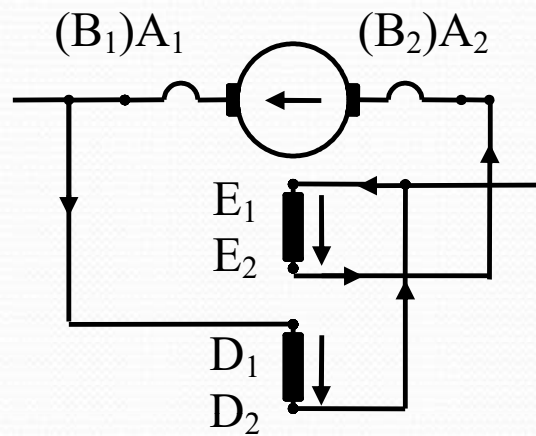
Excitație derivație



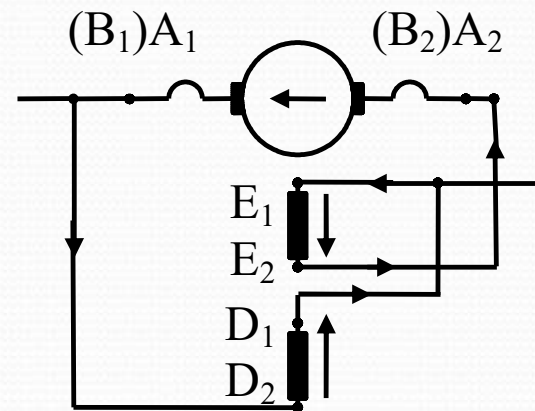
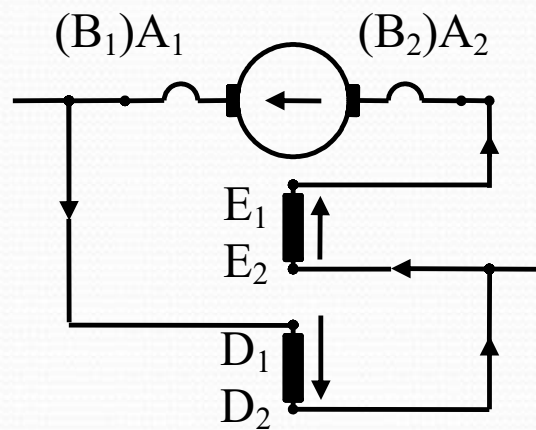
Excitație serie

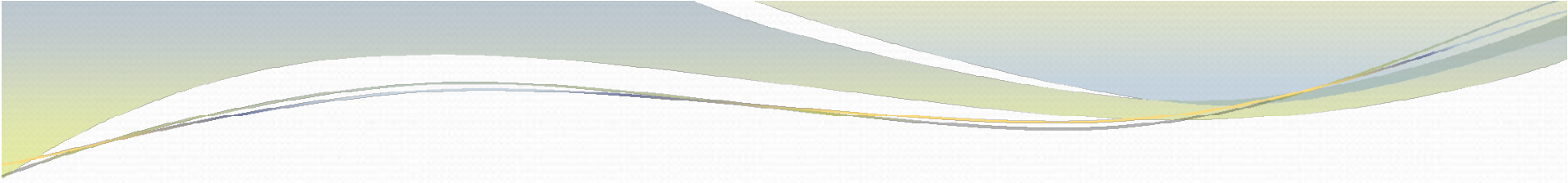


Excitație mixtă
adițională



Excitație mixtă
diferențială



- 
- La schimbarea regimului de funcționare, de la motor la generator sau invers, cu păstrarea sensului de rotație, sensul curentului în toate înfășurările alimentate în serie (inclusiv în rotor) se inversează, iar în cele alimentate în derivație sau independent, va rămâne neschimbat.
 - La păstrarea regimului de funcționare (motor sau generator), cu schimbarea sensului de rotație, se va inversa fie sensul curentului în toate înfășurările alimentate serie, fie se sensul curentului în toate înfășurările alimentate derivație sau independent, ale polilor principali



Particularitățile măsurării rezistențelor înfășurărilor Mcc

- Măsurarea rezistențelor înfășurărilor de pe stator
- Măsurarea rezistenței înfășurării rotorului
 - Măsurarea rezistenței înfășurării rotorului pentru determinarea parametrilor mașinii
 - Măsurarea rezistenței înfășurării rotorului pentru determinarea încălzirii

Particularitățile încercării la supraturație a Mcc

- Pentru mașinile cu tensiunea nominală sub 400 V, aceasta nu se va mări cu mai mult de 20% peste valoarea nominală a turației.
- Pentru mașinile cu excitație serie, se recomandă efectuarea încercării alimentându-se independent înfășurarea de excitație.
- Încercarea la supraturație se efectuează în stare caldă, după încercarea la încălzire a mașinii

ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

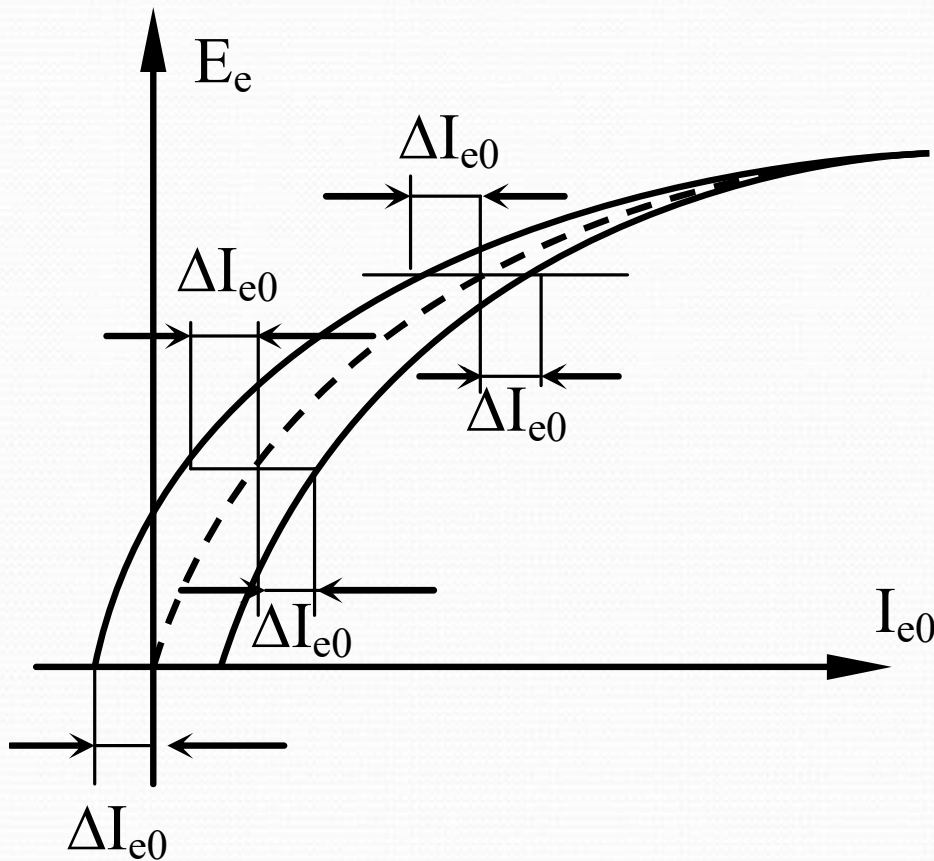
Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR DE CURENT CONTINUU

- Studiul regimului de mers în gol al mașinii de curent continuu
- Studiul regimului de funcționare în scurtcircuit a mașinii de curent continuu
- Studiul regimului de funcționare în sarcină a mașinii de curent continuu
- Determinarea pierderilor și a randamentului mașinilor de curent continuu
- Încercarea la încălzire a mașinii de curent continuu

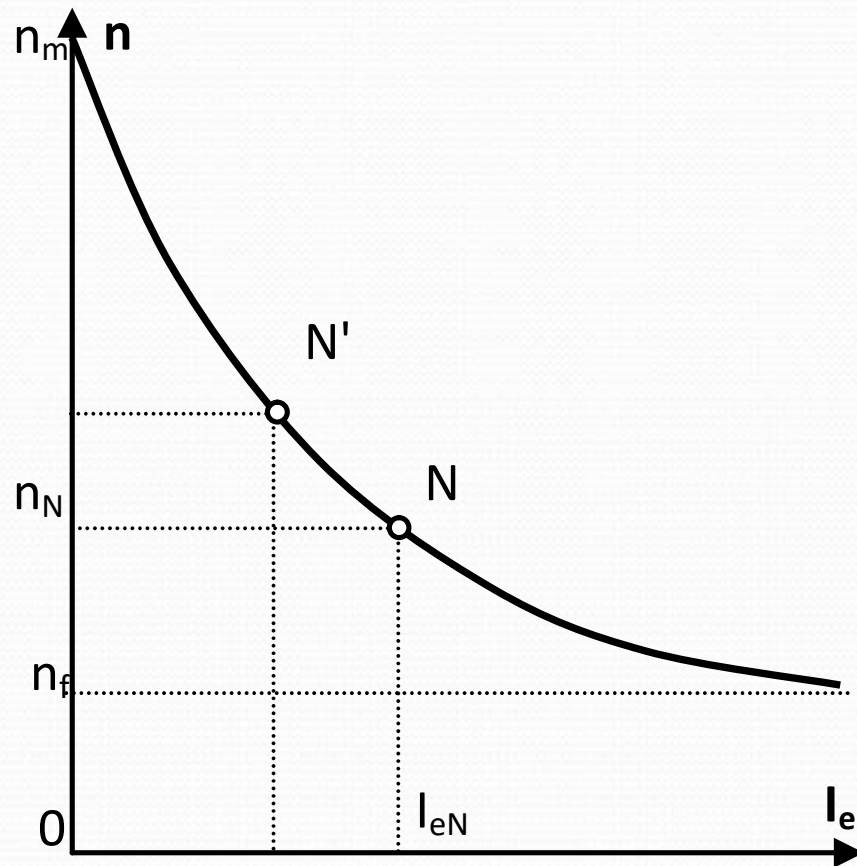
Regimul de funcționare în gol ca generator



$$E_0 = k_e n \Phi_0$$

- Se referă la dependența $E_o = f(I_e)$ când $I_G = 0$

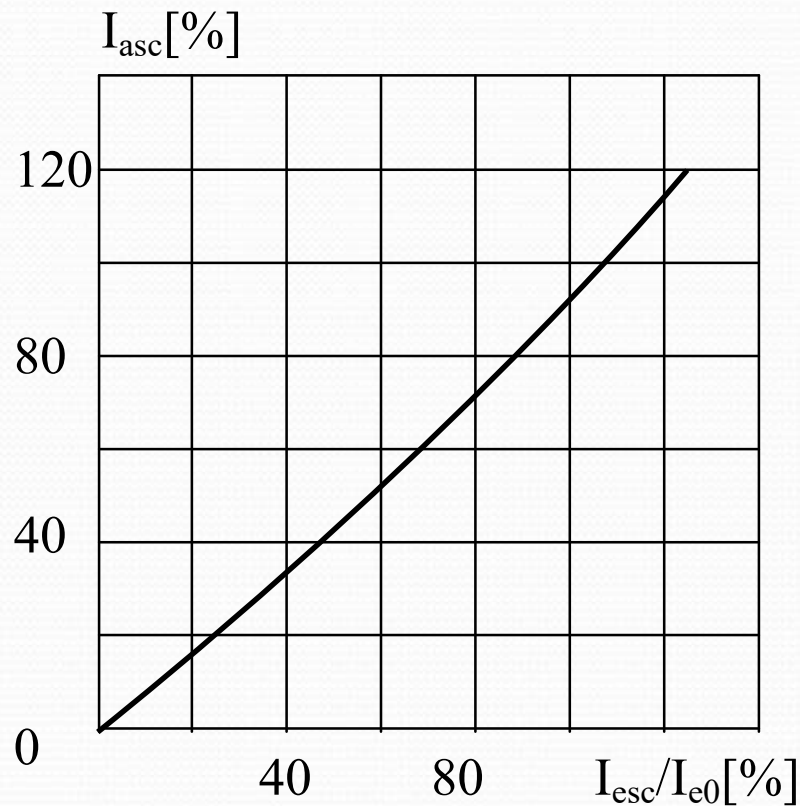
Regimul de funcționare în gol ca motor



$$n = \frac{U}{k_e \cdot \Phi_e} = \frac{U}{k_e \cdot k_\phi \cdot I_e}$$

- Caracteristica vitezei la mersul în gol - $n = f(I_e)$ pentru $U=ct.$

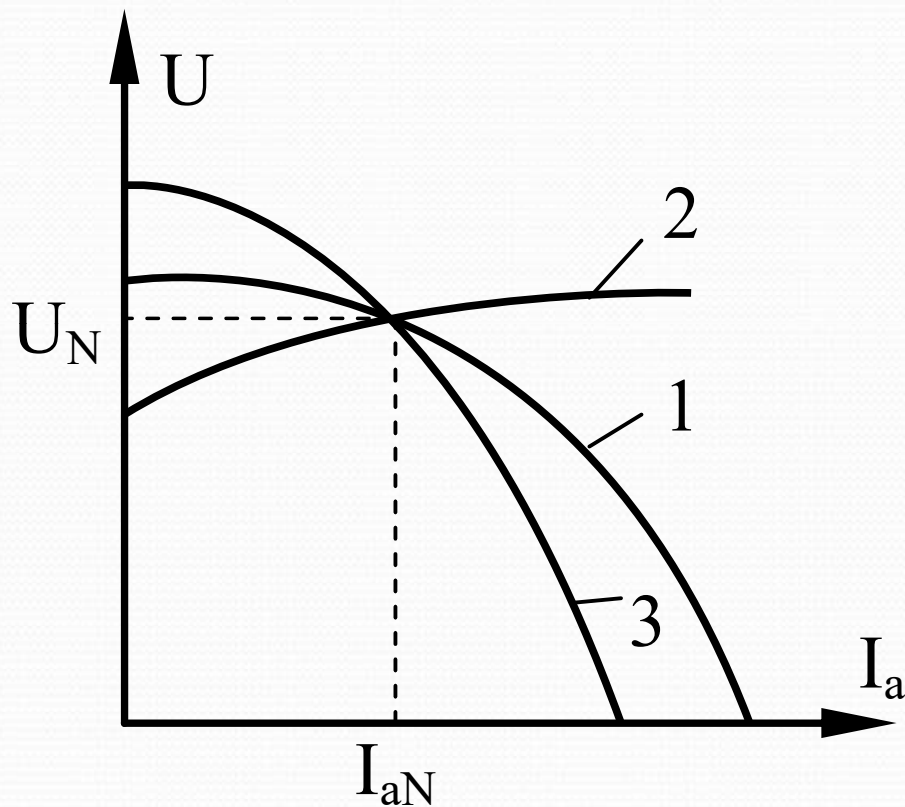
Studiul regimului de funcționare în scurtcircuit a mașinii de curent continuu



$$0 = E_0 - \sum R_a \cdot I_{asc}$$

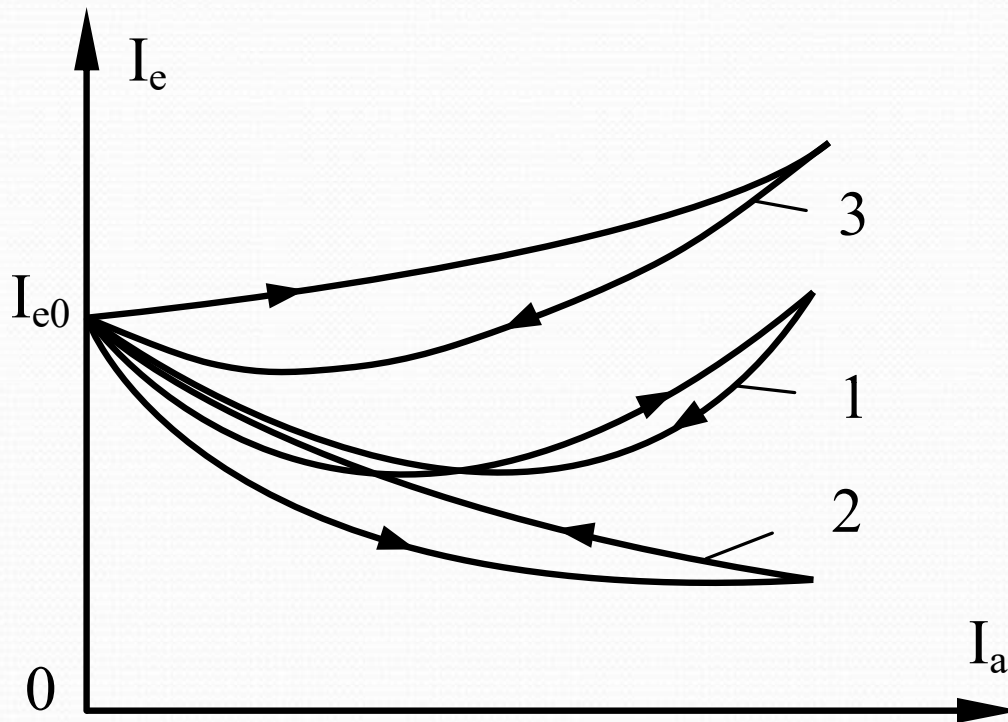
- Caracteristica de scurtcircuit reprezintă $I_{asc} = f(I_{esc})$

Regimul de funcționare în sarcină ca generator



$$U = k_e n \Phi_e - R_A I_G$$

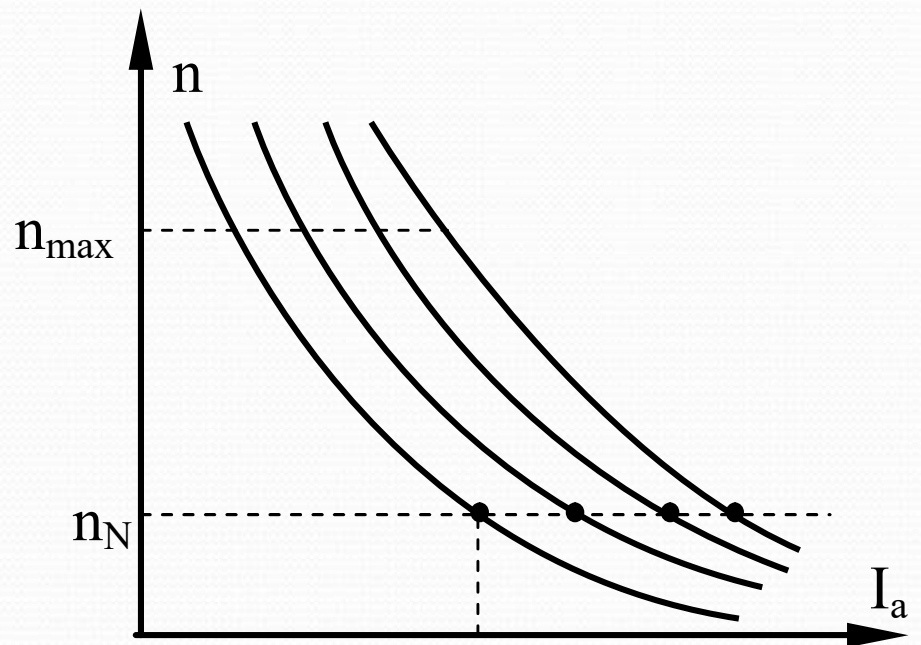
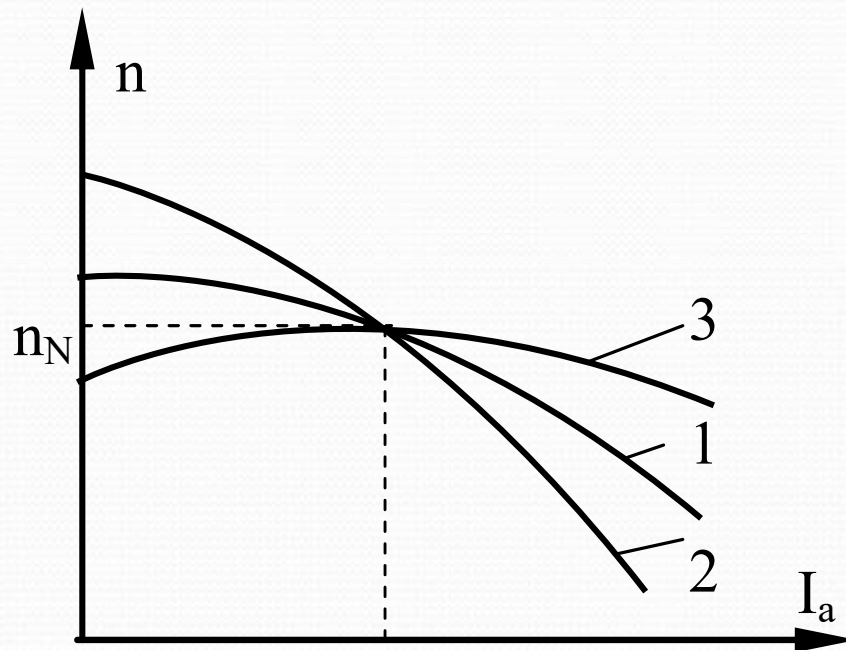
- Definită prin dependența $U = f(I_G)$ când $I_e = \text{const.}$



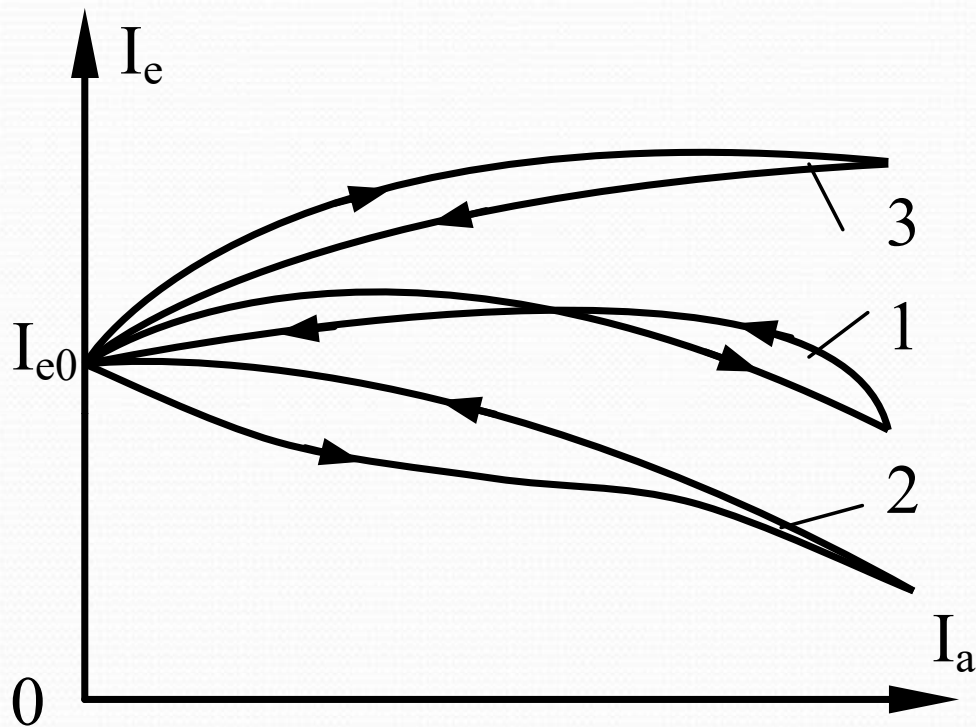
- 1 - excitație derivație,
- 2 - excitație mixtă adițională,
- 3 - excitație mixtă diferențială

- Caracteristica de reglaj $I_e = f(I_G)$ când $U = \text{const.}$

Regimul de funcționare în sarcină ca motor



- Caracteristica vitezei în sarcină - $n = f(I_A)$, la $U = \text{ct.}$



1 - excitație derivație,
 2 - excitație mixtă adițională,
 3 - excitație mixtă diferențială

- Caracteristica de reglaj $I_e = f(I_a)$ când $n = \text{const.}$



Categorii de pierderi la mașina de curent continuu

- **Pierderi în circuitul de excitație** $p_e = R_e \cdot I_e^2$
- **Pierderi constante**
 - Pierderile în fier $p_{Fe} = K \cdot U^\alpha \cdot f^\beta$
 - Pierderi mecanice
- **Pierderi variabile** $p_{ja} = (R_a + R_{PA} + R_K) I_a^2$
- **Pierderi suplimentare**

Metode de încercare pentru determinarea pierderilor și a randamentului pentru Mcc

- **Metode directe**

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \cdot 100$$

- **Metode indirecte**

$$\eta_G = \left(1 - \frac{\sum p}{P_u + \sum p} \right) \cdot 100$$



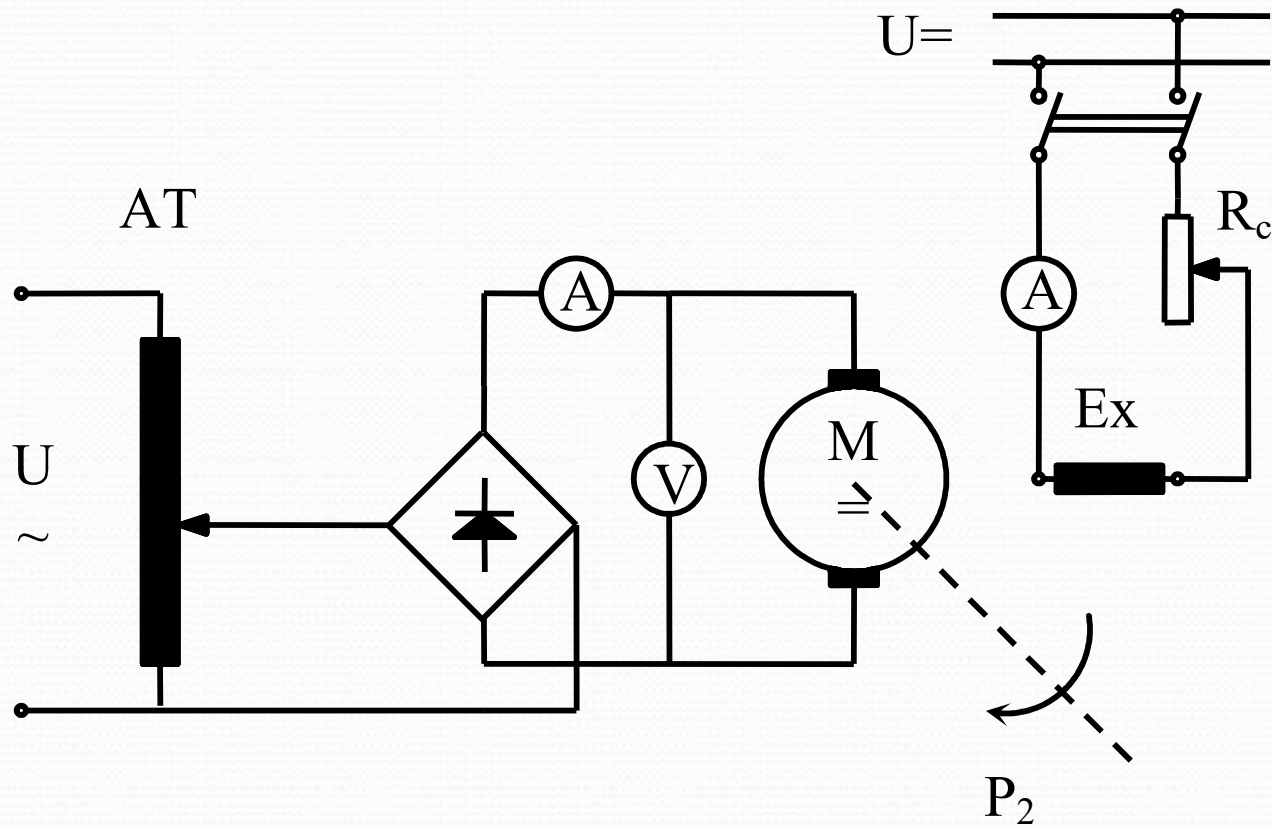
Tipuri de încercări pentru determinarea randamentului M_{cc}

- **Încercarea cu motorul tarat**
- **Încercarea cu mașina tarată**
- **Încercarea cu frâna**
- **Încercarea tip grup motor-generator**
- **Încercarea prin metoda opoziției**



Determinarea randamentului Mcc prin metoda separării pierderilor

- 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*).



schema de montaj pentru determinare pierderilor



Etape de lucru:

- determinarea rezistenței indusului R_{atm}
- determinarea pierderilor mecanice și în fier
- calcularea pierderilor în rezistența de contact perie-colector
- calcularea pierderilor suplimentare din înfășurarea indusului
- calcularea pierderilor din înfășurarea de excitație
- calcularea sumei totale a pierderilor
- determinarea valorii randamentului
- trasarea caracteristicii randamentului

$$\eta_M = \frac{U_{0M} \cdot I_a - \sum p}{U_{0M} \cdot I_a} \cdot 100$$

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



Încercarea la încălzire a Mcc

- **Metoda directă de determinare a supratemperaturii subansamblelor mașinii de curent continuu prin încărcarea în serviciul nominal tip**
- **Metoda indirectă de determinare a supratemperaturii înfășurărilor mașinii de curent continuu**

ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU




ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR SINCRONE

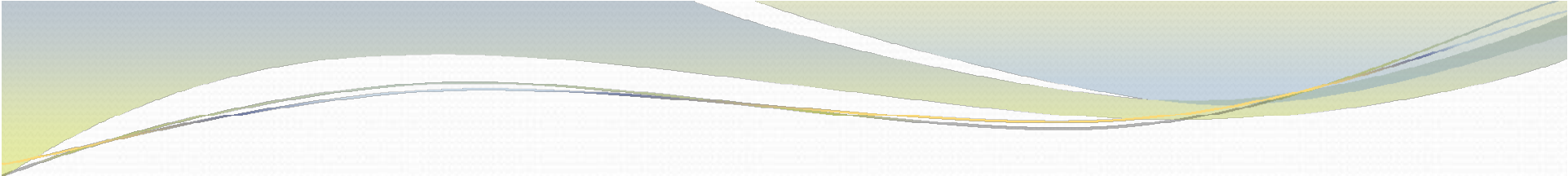
- Determinarea caracteristicilor acestor mașini vor ține cont de următoarele prevederi:
 - pentru mașinile trifazate, determinarea tuturor parametrilor se face conform schemei de conexiuni în stea a înfășurării indusului;
 - toți parametrii se vor calcula pe fază, iar la exprimarea lor în unități relative se vor lua ca mărimi de raportare, valorile nominale ale tensiunii și puterii aparente.
 - în cazul în care parametrii ce se măsoară depind de temperatura înfășurărilor, se impune ca aceasta să fie măsurată;
 - valorile parametrilor mașinii se vor determina atât pentru regim saturat cât și pentru regimul nesaturat



Programul de încercări pentru mașinile sincrone

- Verificarea tehnică generală.
- Măsurarea rezistenței de izolație între înfășurări și față de masa mașinii, cu mașina în stare caldă.
- Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu, cu mașina în stare rece.
- Determinarea sensului de rotație.
- Ridicarea caracteristicii de funcționare în gol.
- Determinarea curentului de excitație la funcționarea în gol, în regim supraexcitat (corespunzător tensiunii și curentului nominal în indus) și determinarea caracteristicii în "V".
- Ridicarea caracteristicii de scurtcircuit simetric trifazat permanent.

- 
- Ridicarea caracteristicilor de pornire la motoare.
 - Încercarea la încălzire.
 - Determinarea curentului nominal de excitație și a variației nominale de tensiune.
 - Încercarea sistemului de excitație
 - Determinarea experimentală a reactanțelor înfășurărilor la mașinile sincrone cu putere mai mare de 100 kVA.
 - Determinarea pierderilor și randamentului.
 - Încercarea la suprasarcină de curent.
 - Încercarea la suprasarcină de cuplu la motoare.
 - Încercarea la supraturație.
 - Încercarea la tensiune a izolației între înfășurări și față de masa mașinii.

- 
- Încercarea izolației între spire.
 - Determinarea vitezei nominale de creștere a tensiunii excitatoarei generatorului sau compensatorului sincron la funcționarea în gol.
 - Determinarea coeficientului de deformare a curbei tensiunii la generatoare.
 - Determinarea factorului armonic telefonic (FAT) la generatoarele cu puterea egală sau mai mare de 300 kVA.
 - Măsurarea nivelului de vibrații.
 - Măsurarea nivelului de zgomot.
 - Verificarea gradului normal de protecție.

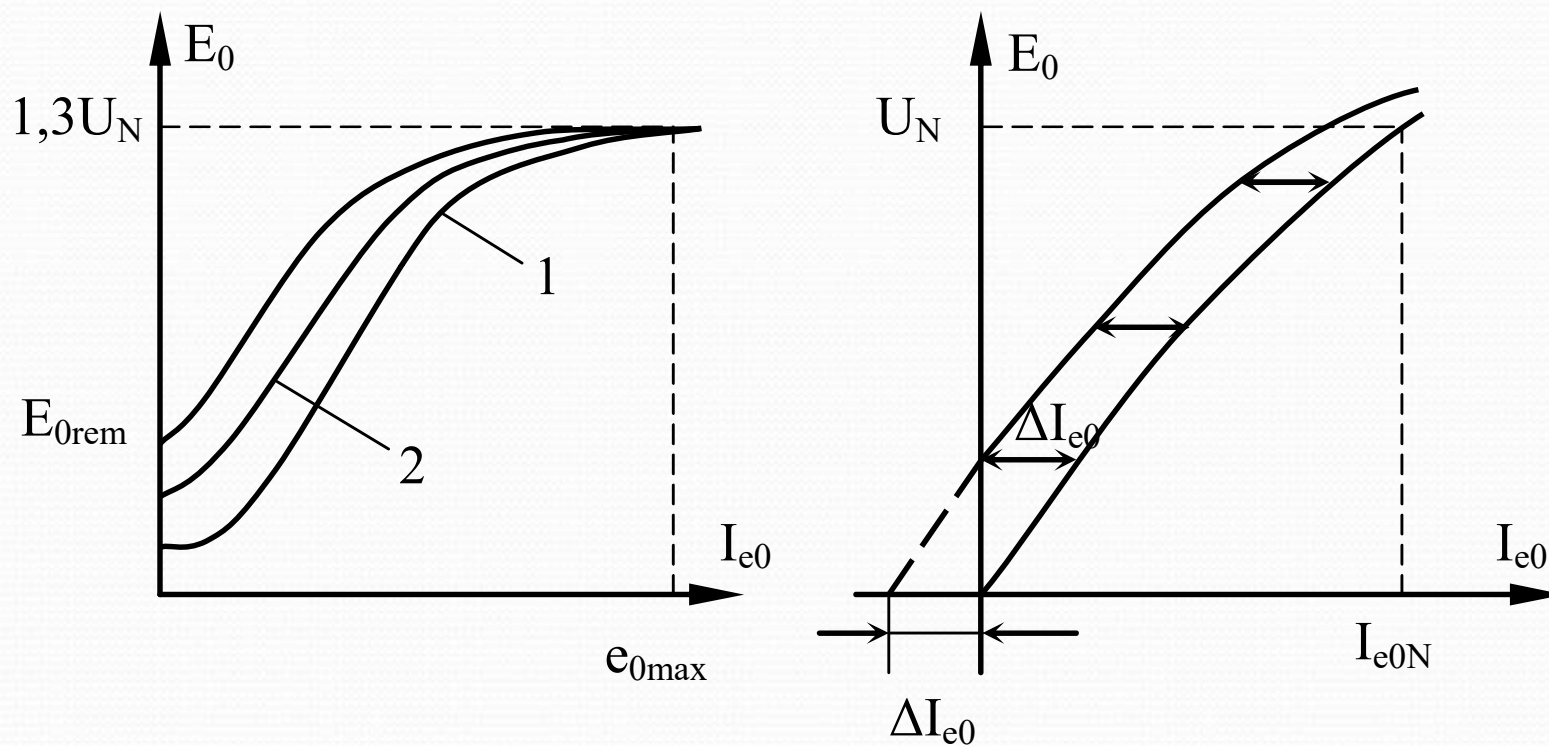


Verificarea simetriei tensiunilor în înfășurarea indusului

- Prin această încercare se verifică corectitudinea conectării bobinelor din componența unei faze.
- Încercarea constă în măsurarea tuturor tensiunilor între faze, turația și curentul de excitație fiind constante.
- Diferența dintre valorile măsurate nu trebuie să depășească suma erorilor voltmetrelor la măsurare.
- Concomitent cu verificarea simetriei tensiunilor, se determină și succesiunea fazelor, după care se marchează bornele înfășurării indusului

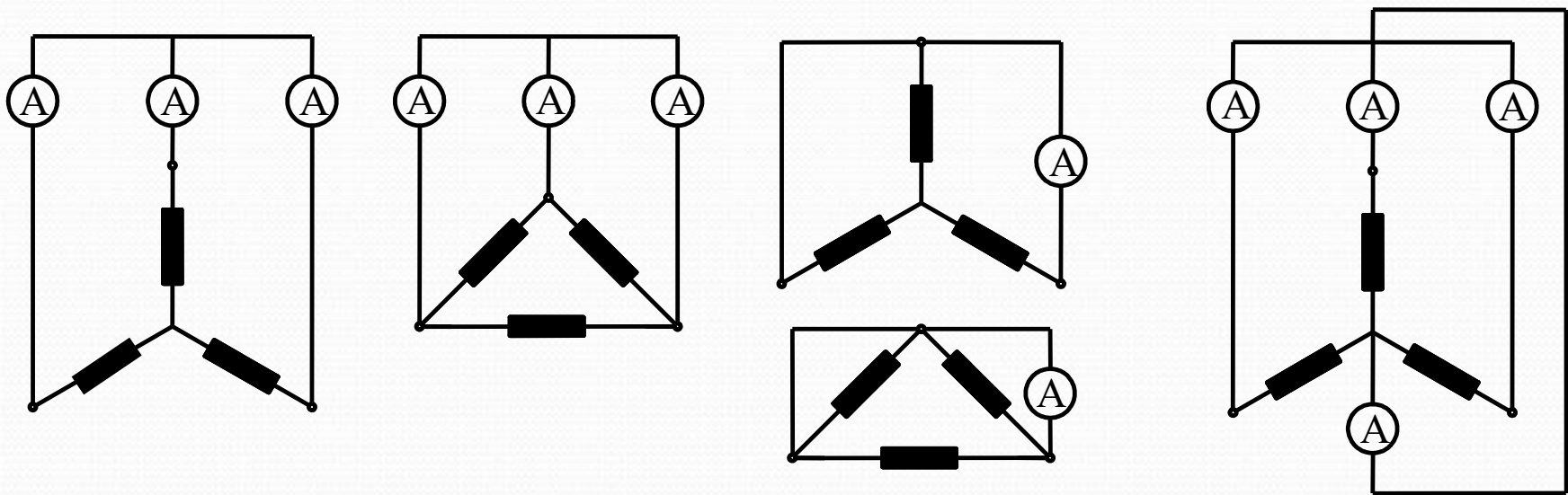
Denumirea și modul de conectare a bobinelor	Numărul bornelor	Denumirea bornelor	Notarea bornelor	
			Începutul	Sfârșitul
Bobina statorului (indusului): Fazele separate	6	Prima fază Faza a doua Faza a treia	U_1 V_1 W_1	U_2 V_2 W_2
Conectarea în stea	3 sau 4	Prima fază Faza a doua Faza a treia Punctul neutru	U_1 V_1 W_1 N	
Conectarea în triunghi	3	Prima fază Faza a doua Faza a treia	U_1 V_1 W_1	
Bobinele de excitație ale (inductorului) mașinilor sincrone	2	—	K_1	K_2

Studiul funcționării mașinii sincrone în regim de generator în gol

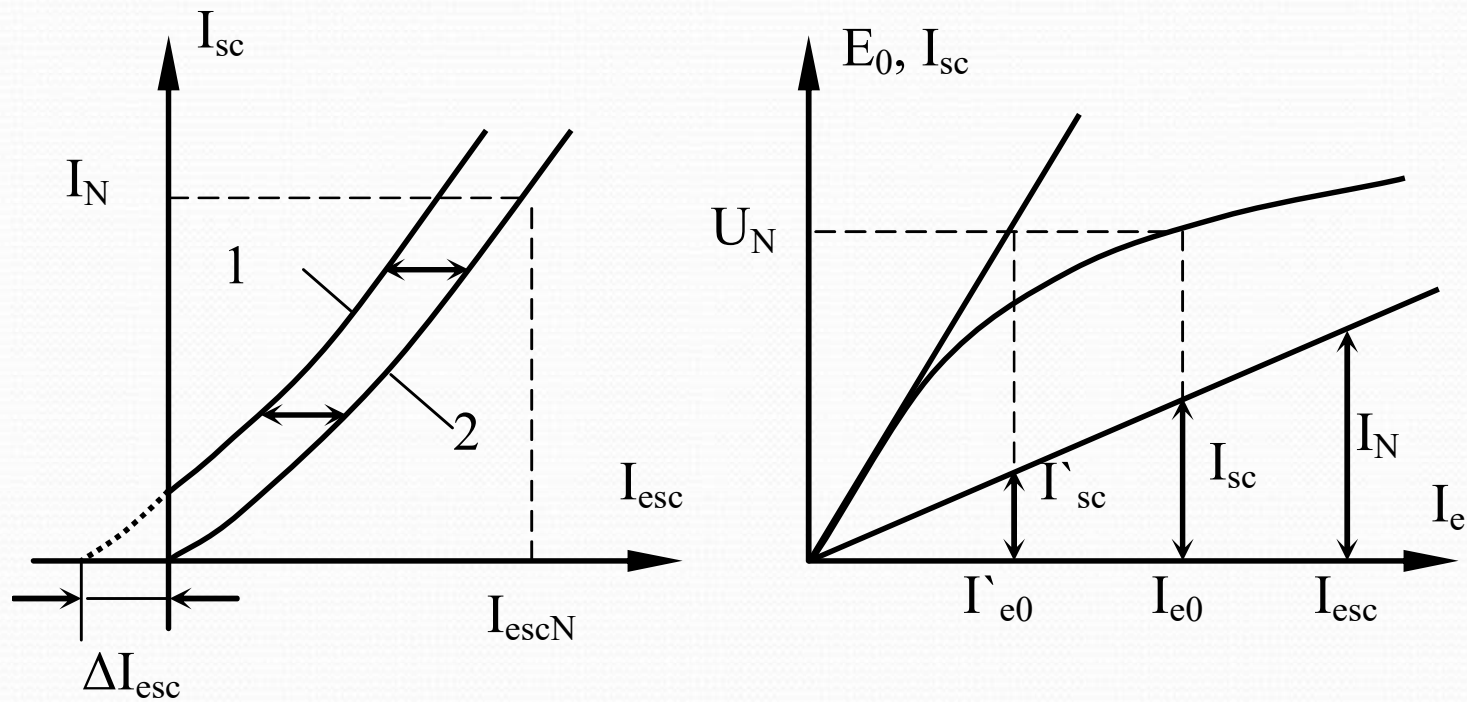


- Caracteristica de mers în gol - $E_o = f(I_{eo})$

Studiul regimului de scurtcircuit la generatorul sincron



- Scurtcircuitul la un generator trifazat este simetric, dacă se scurtcircuitează toate bornele de linie ale înfășurării



Raportul de scurtcircuit (RSC), definit ca raportul dintre curentul de scurtcircuit I_{sc} (curentul de excitație I_{e0} corespunzător tensiunii nominale de mers în gol) și curentul nominal I_N ($RSC = I_{sc}/I_N$).

Acest raport poate fi înlocuit cu curenții de excitație corespunzători,

$$I_{sc}/I_N = I_{e0}/I_{esc}$$



Studiul regimului de funcționare în sarcină la parametri nominali

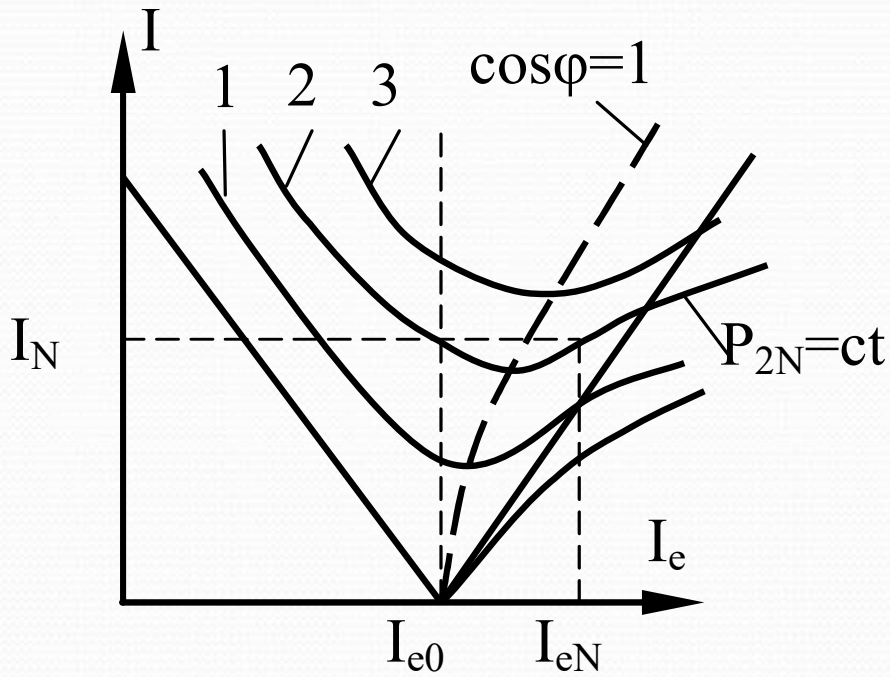
- **Determinarea curentului nominal de excitație**

Metode directe de determinare a curentului nominal de excitație

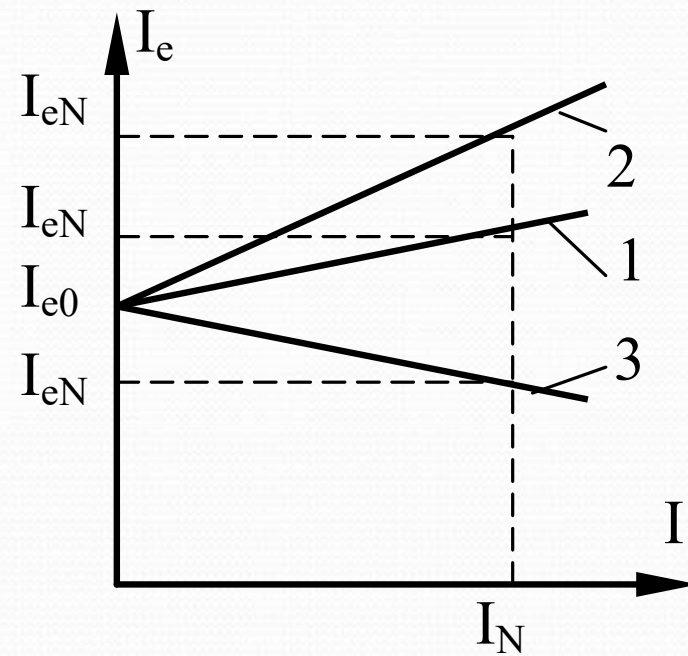
- **Metoda încărcării în serviciul nominal tip**
- **Metoda caracteristicilor în "V"**
- **Metoda caracteristicilor de reglaj**
- **Metoda caracteristicilor externe**

Determinarea prin metode indirecte a curentului nominal de excitație

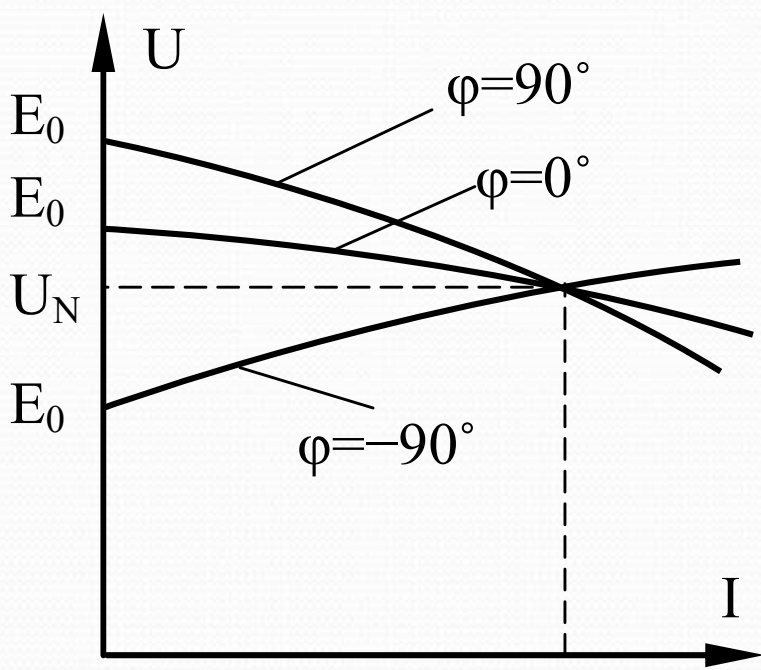
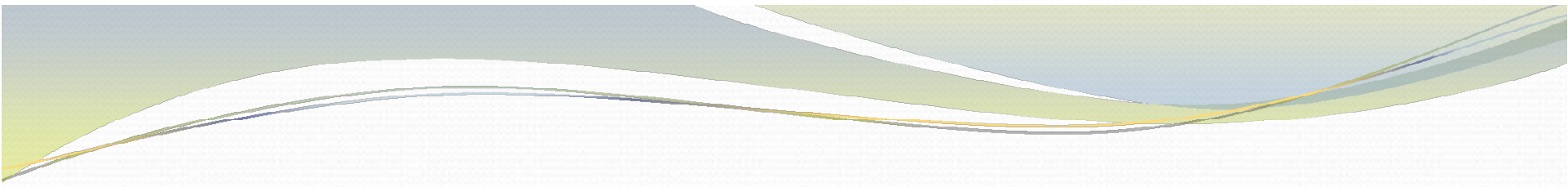
- **Diagrama Potier**



Metoda caracteristicilor în "V"



Metoda caracteristicilor de reglaj



Metoda caracteristicilor externe

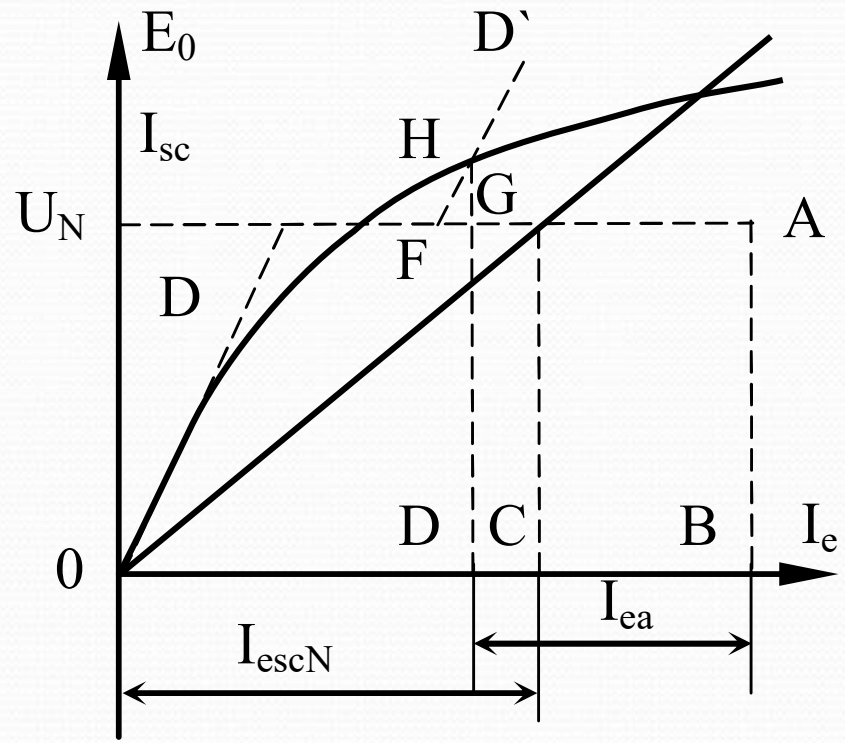
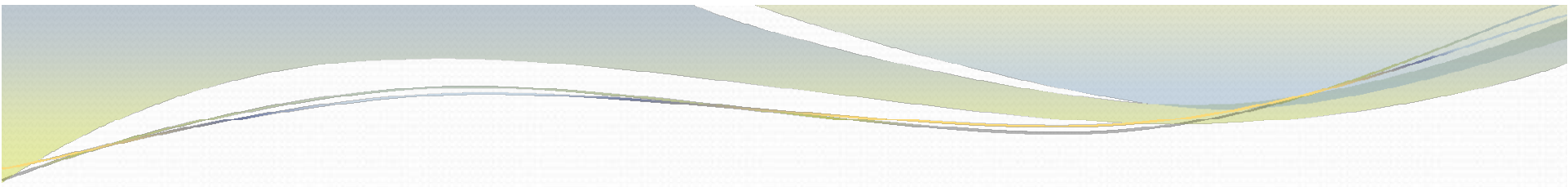


Diagrama Potier



Determinarea pierderilor și a randamentului la mașina sincronă

- Pierderile totale în mașina sincronă rezultă din însumarea următoarelor componente:
 - pierderi în circuitul de excitație;
 - pierderi în înfășurări;
 - pierderi în rezistența de contact a periilor;
 - pierderi în circuitul magnetic;
 - pierderi mecanice.


$$\eta_{[\%]} = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100$$

$$\eta_{[\%]} = 1 - \frac{\sum p}{P_1}$$

- Cele două expresii ale randamentului definesc metodele prin care acesta poate fi determinat și anume:
 - metoda directă;
 - metoda indirectă (metoda pierderilor separate).

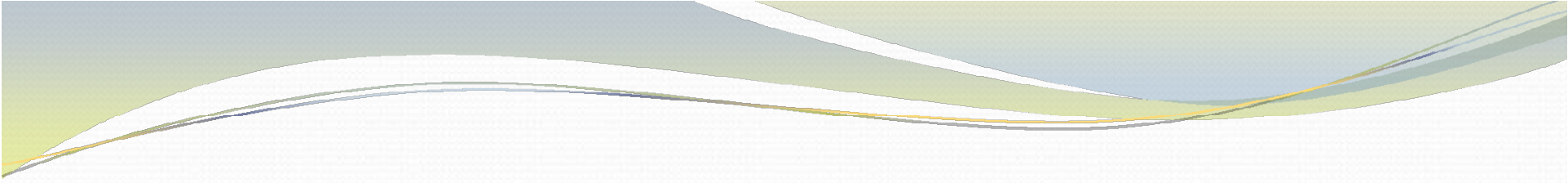
ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE

Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



Determinarea experimentală a unghiului intern la mașina sincronă

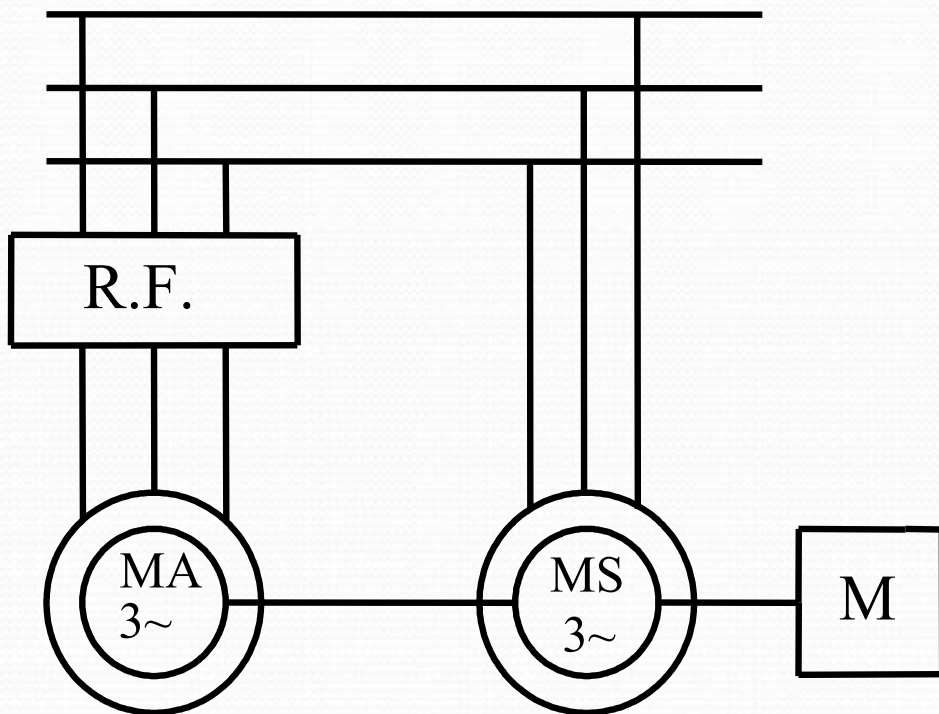
- ***Unghiul intern*** poate fi determinat ca:
 - unghiul geometric între axa câmpului magnetic învârtitor inductor (axa polului rotoric) și axa câmpului magnetic rezultat,
 - unghi electric între tensiunea indusă E_o și tensiunea la borne U .



Determinarea unghiului intern ca unghi geometric între axa câmpului învârtitor inductor și axa câmpului magnetic rezultat

- **1. Metoda mașinii auxiliare alimentate prin regulator de fază**
- **2. Metoda mașinii sincrone auxiliare separate mecanic**

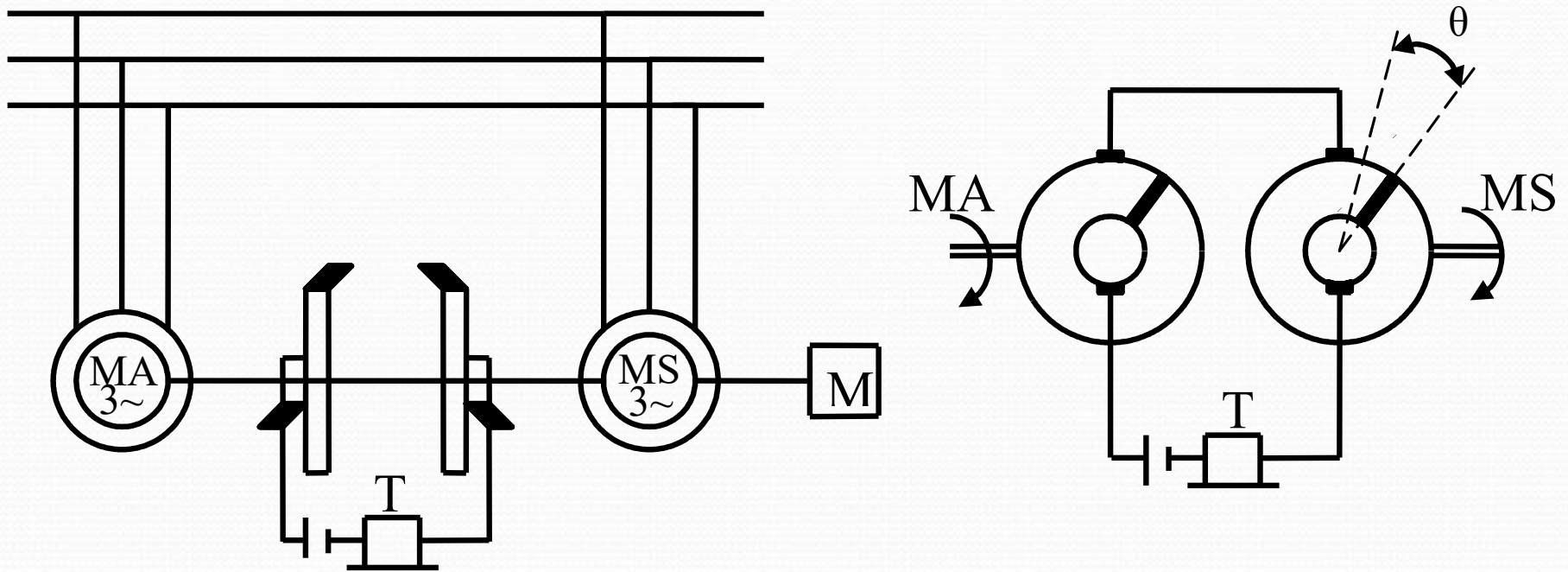
Metoda mașinii auxiliare alimentate prin regulator de fază



- MS – masina sincrona de determinat
- MA – masina sincrona auxiliara
- R.F. – regulator de faza
- M – motor de antrenare

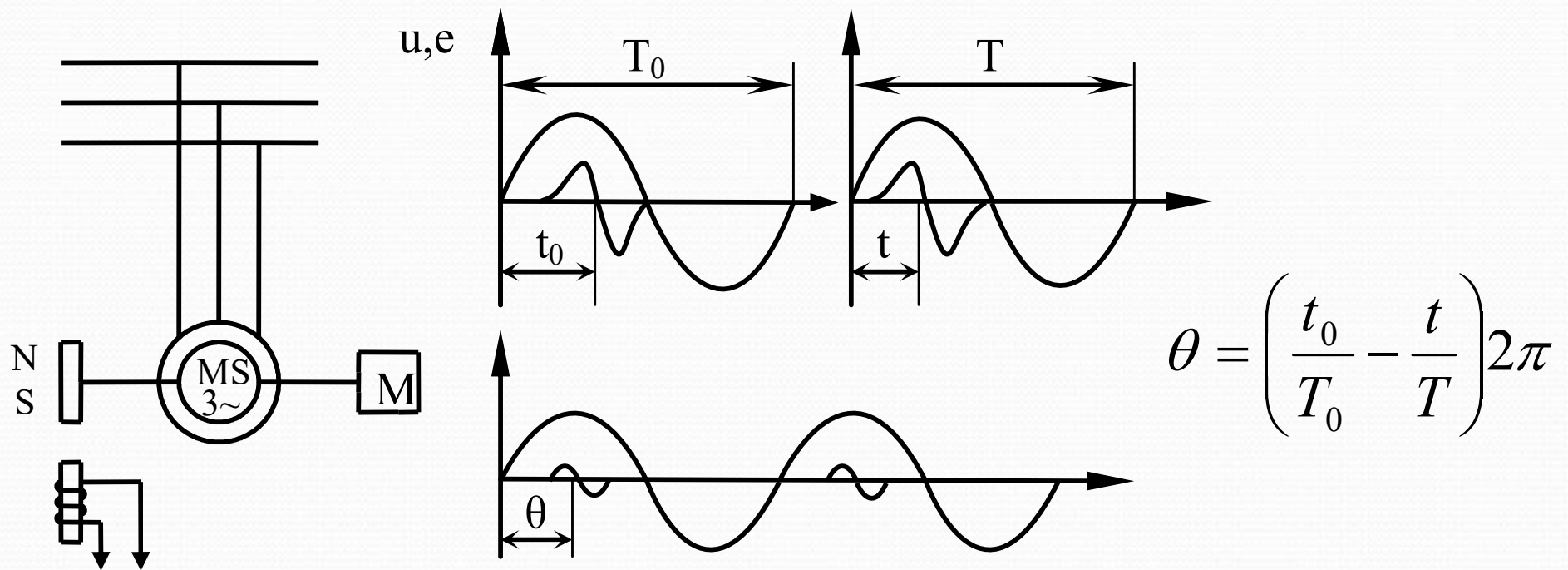
$$\theta = p_A \cdot \theta_A$$

Metoda mașinii sincrone auxiliare separate mecanic



$$\theta = p_A \cdot \theta_A$$

Determinarea unghiului intern ca unghi electric între tensiunea indusă și tensiunea la borne



Metoda oscilografului



Determinarea unghiului intern la mașina sincronă prin metoda stroboscopică

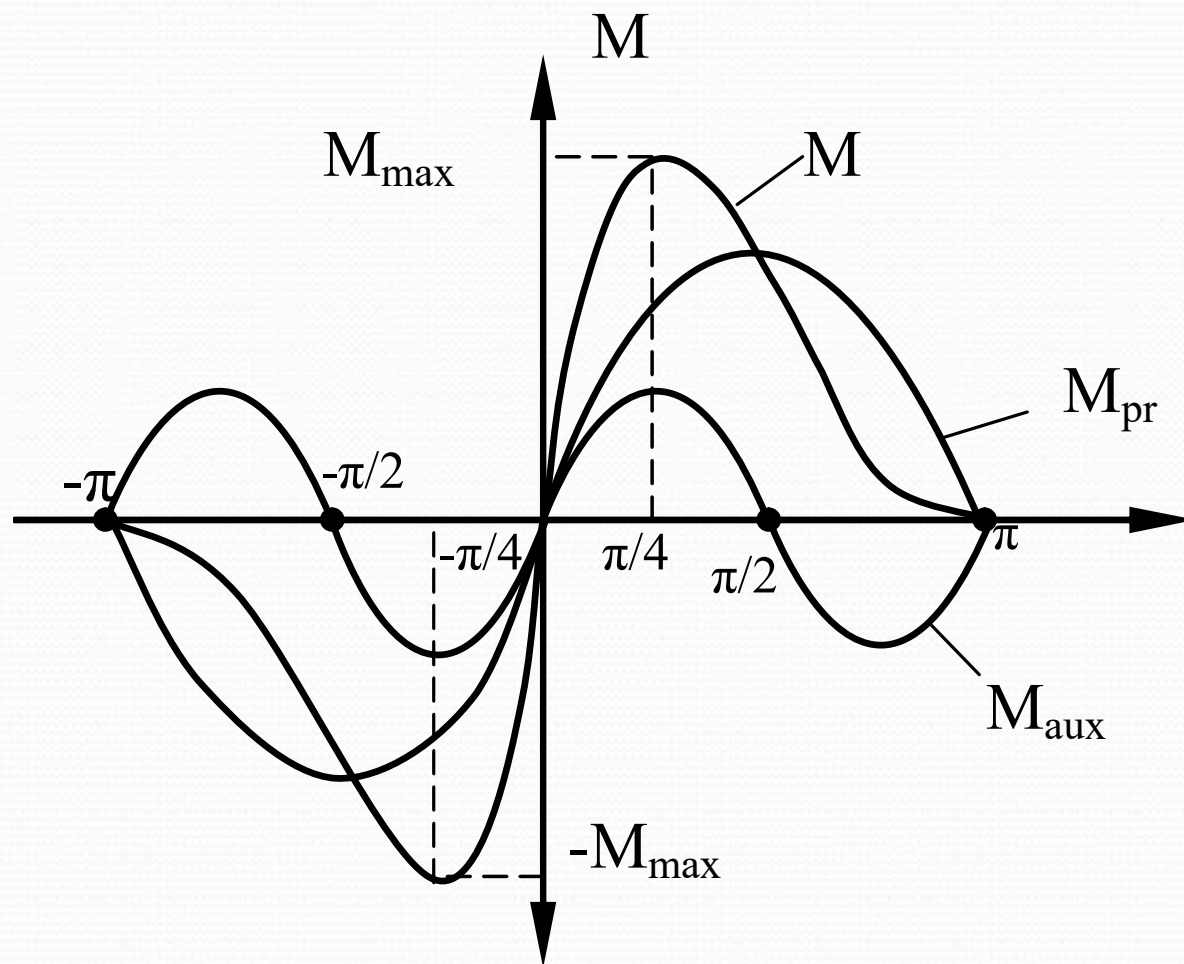
- Metoda are la bază efectul stroboscopic creat de o lampă cu descărcare cu neon
- Pe axul motorului se fixează un ac indicator reflectorizant iar pe partea fixă a statorului mașinii, în preajma acului indicator, în planul de rotire a acului, se fixează un sector circular gradat direct în radiani sau grade electrice
- Erorile care pot apărea se datorează în primul rând impreciziei de apreciere a unghiului de pe sector, precum și a stabilirii situației de gol ideal pentru $\theta=0$

Determinarea caracteristicii unghiulare a mașinii sincrone prin metoda indirectă

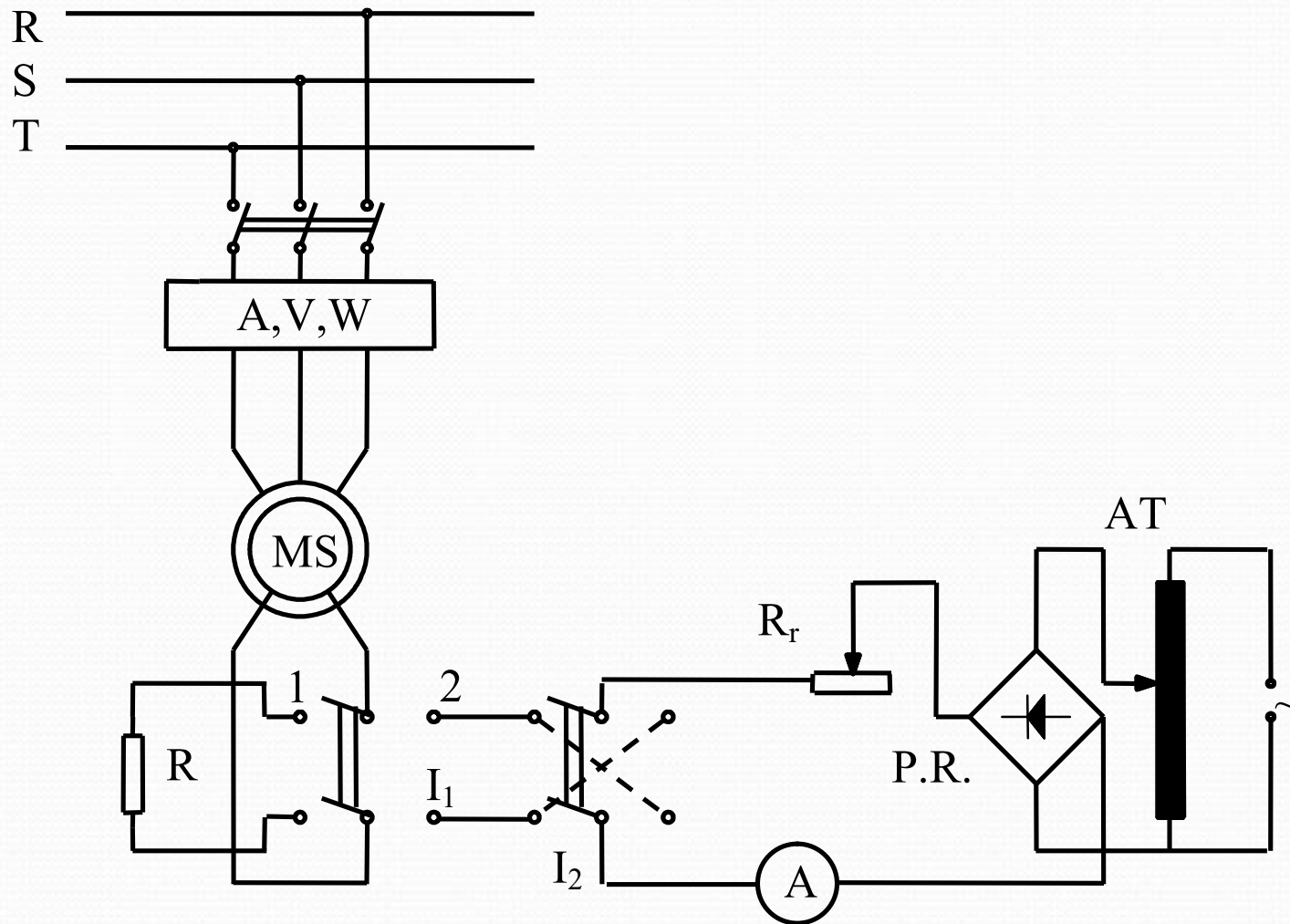
- Exploatarea rațională a mașinilor sincrone presupune cunoașterea dependenței dintre putere, respectiv cuplu electromagnetic și unghiul intern θ , dependență dată de relațiile:

$$P = mU \frac{E_o}{X_d} \sin \theta + m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$$

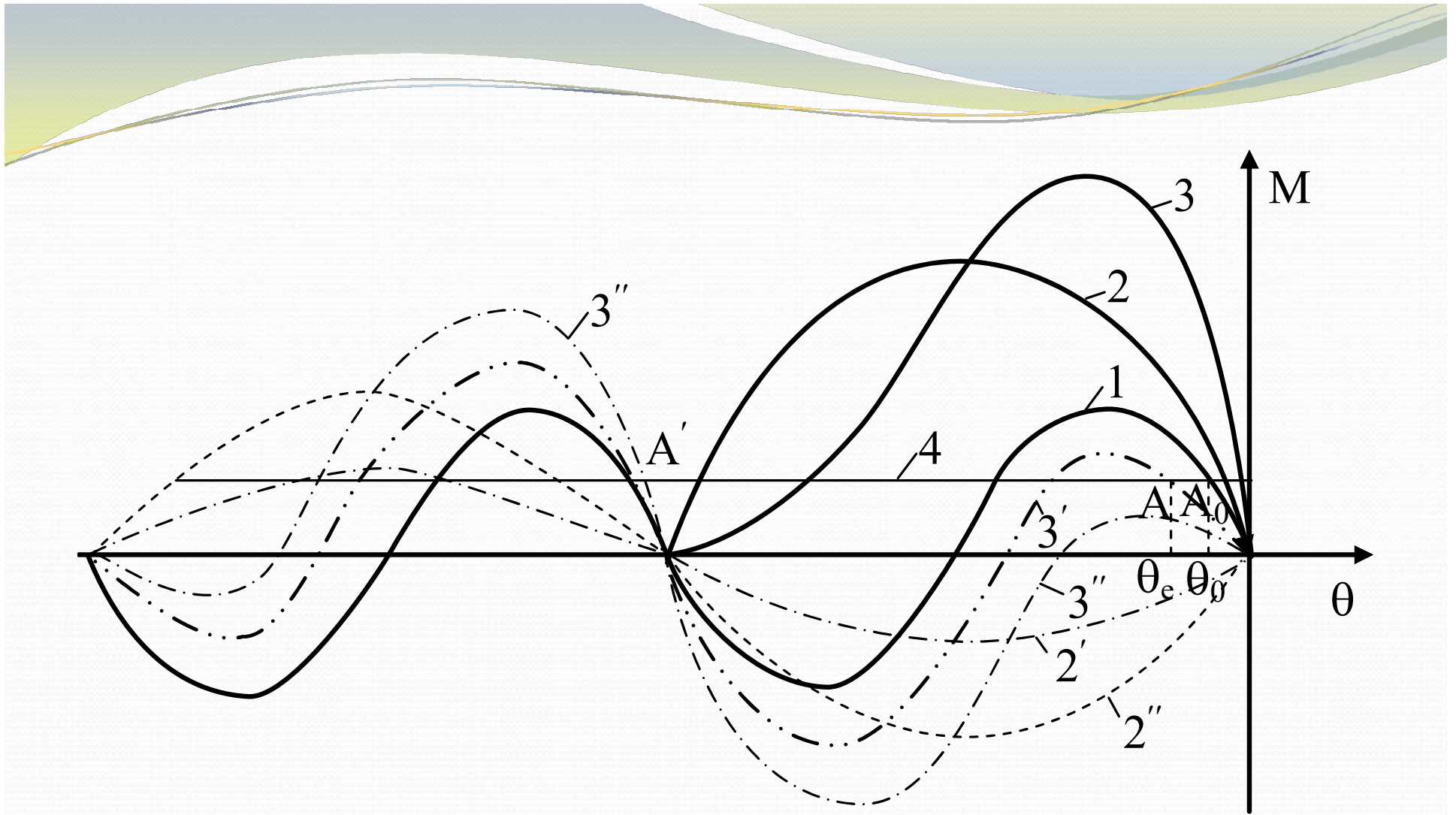
$$M = mU \frac{E_o}{\Omega X_d} \sin \theta + m \frac{U^2}{2\Omega} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$$



Caratteristica $M=f(\theta)$



determinarea raportului celor două cupluri maxime, de reluctanță $M_{x_{max}}$ și excitație $M_{e_{max}}$, pentru un motor sincron cu poli aparenti



- Considerând valorile maxime ale cuplurilor de excitație și de reluctanță se poate trasa caracteristica unghiulară a mașinii sincrone


ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ELECTRICE


Șef lucr. dr. ing. Adrian MUNTEANU



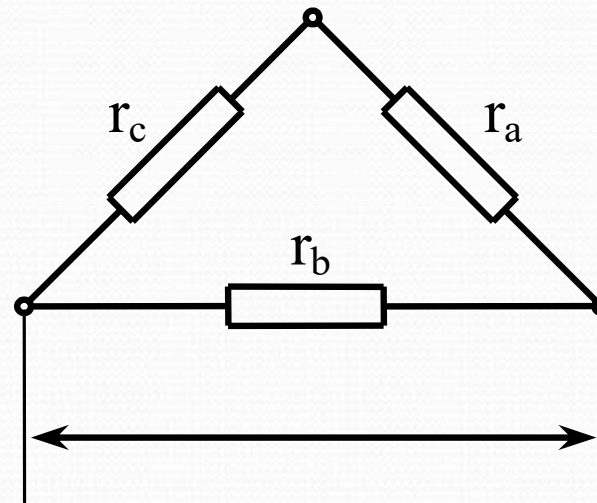
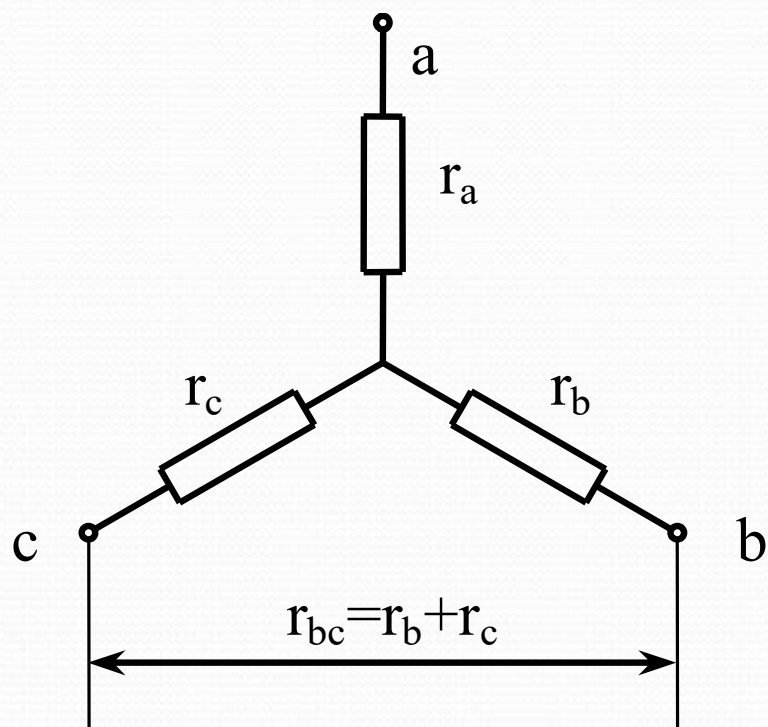
ÎNCERCĂRILE MAȘINILOR ASINCRONE

- 1. Verificarea tehnică generală.
- 2. Măsurarea rezistenței de izolație între înfășurări și față de masa mașinii, cu mașina în stare caldă.
- 3. Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu, cu mașina în stare rece.
- 4. Determinarea raportului de transformare la motoarele asincrone cu rotor bobinat.
- 5. Determinarea sensului de rotație. Încercarea nu se execută la motoarele prevăzute să funcționeze în ambele sensuri de rotație.

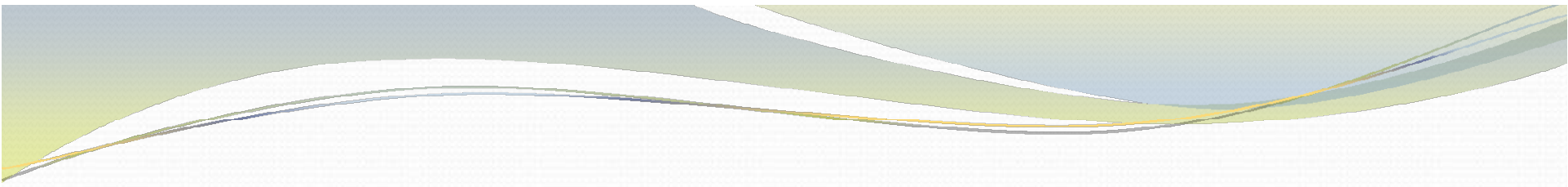
- 
- 6.Încercarea de funcționare în gol.
 - 7.Încercare la scurtcircuit.
 - 8.Determinarea raportului între curentul inițial de pornire și curentul nominal, la motoarele asincrone cu rotor în scurtcircuit.
 - 9.Determinarea raportului între cuplul inițial de pornire și cuplul nominal, la motoarele asincrone cu rotor în scurtcircuit.
 - 10.Determinarea raportului între cuplul minim în perioada de pornire și cuplul nominal, la motoarele asincrone cu rotor în scurtcircuit.
 - 11.Determinarea raportului între cuplul maxim și cuplul nominal.
 - 12.Încercarea la încălzire.

- 
- 13. Determinarea caracteristicilor de funcționare în sarcină.
 - 14. Încercarea la suprasarcină de cuplu.
 - 15. Încercarea la tensiune a izolației între înfășurări și față de masa mașinii.
 - 16. Încercarea izolației între spire.
 - 17. Verificarea comutației, în cazul motoarelor cu colector, de la funcționarea în gol până la funcționarea în sarcină.
 - 18. Măsurarea nivelului de vibrații.
 - 19. Măsurarea nivelului de zgomot.
 - 20. Verificarea gradului normal de protecție.

Particularități la măsurarea rezistențelor înfășurărilor



$$r_{bb} = \frac{r_b(r_a + r_c)}{r_a + r_b + r_c}$$


$$r_a = \frac{r_{ca} + r_{ab} - r_{bc}}{2}$$

$$r_b = \frac{r_{ab} + r_{bc} - r_{ca}}{2}$$

$$r_c = \frac{r_{ca} + r_{bc} - r_{ba}}{2}$$

conexiune stea

$$r_a = \frac{1}{2} \left[\frac{4r_{bb}r_{cc}}{r_{bb} + r_{cc} - r_{aa}} - (r_{bb} + r_{cc} - r_{aa}) \right]$$

$$r_b = \frac{1}{2} \left[\frac{4r_{cc}r_{aa}}{r_{cc} + r_{aa} - r_{bb}} - (r_{cc} + r_{aa} - r_{bb}) \right]$$

$$r_c = \frac{1}{2} \left[\frac{4r_{aa}r_{bb}}{r_{aa} + r_{bb} - r_{cc}} - (r_{aa} + r_{bb} - r_{cc}) \right]$$

conexiune triunghi



Particularitățile încercării rigidității dielectrice a izolației dintre spirele înfășurărilor

- Pentru realizarea încercării, se aplică înfășurării de încercat o tensiune crescătoare până la valoarea de 140% din valoarea ei nominală și se menține timp de 5 minute.
- Este indicat ca în timpul încercării, rotorul să fie calat (blocat).
- Încercarea izolației dintre spirele înfășurărilor motoarelor asincrone trebuie să fie realizată după încercarea la supraturației



Particularitățile încercării la supraturație

- Motoarele cu rotorul bobinat necesită o verificare amănunțită a robusteții bandajului prin încercarea la supraturație.
- Motoarele cu doi poli, în special cele de mare putere, trebuie încercate în mod obligatoriu la supraturație.
- Pentru motoarele cu mai multe turații, încercarea la supraturație se va face pentru viteza nominală cea mai mare, respectiv pentru situația unui număr minim de poli.
- Creșterea de turație va fi de 20% peste cea mai mare turație sincronă la frecvența nominală.

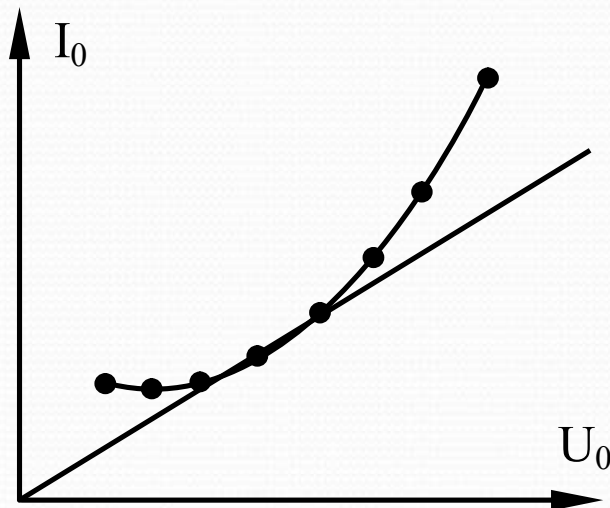


Determinarea raportului de transformare

- Determinarea experimentală a raportului de transformare se face aplicând tensiune înfășurării statorului, având rotorul în circuit deschis și măsurându-se tensiunile dintre faze la ambele înfășurări.
- Valoarea tensiunii aplicate înfășurării statorului este cea nominală, pentru motoarele cu tensiunea nominală sub 500 V și de (10-15)% din tensiunea normală pentru motoarele cu tensiunea nominală peste 500 V.

Studiul regimului de funcționare în gol a motorului asincrone

- În timpul încercării, se măsoară tensiunea și curentul absorbit de stator, trasându-se caracteristica $I_0 = f(U_0)$



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

$$\cos \varphi_0 = \frac{P}{\sqrt{3}U_0 I_0}$$

$$P_{Cul} = 3I_0^2 R_0$$

stea

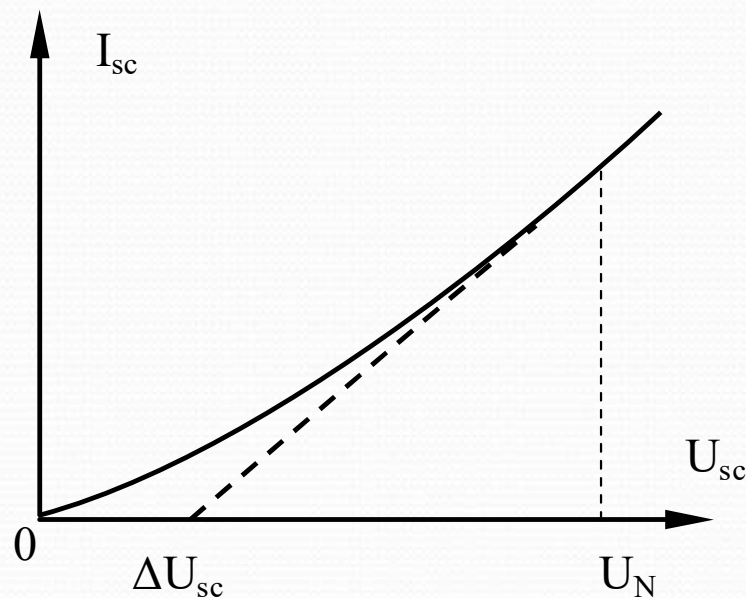
$$P_{Cul} = I_0^2 R_0$$

triunghi

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

Studiul regimului de funcționare în scurtcircuit a motorului asincron

- Regimul de scurtcircuit pentru motorul asincron este obținut prin alimentarea înfășurării statorului având rotorul calat.



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

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

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

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.

$$P_2 = P_1 - P_{Cu1} - P_{Cu2} - P_{mec} - P_s$$

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