

# Proiectarea masinilor electrice

## Probleme generale

### Proiectare

La proiectarea unei masini electrice pot apare doua situatii:

**1. se proiecteaza o masina pentru care sunt date experimentale;**

In acest caz se foloseste experienta acumulata sub forma unor valori numerice pentru anumite marimi (densitate de curent, inductii, efortul tangential mediu, patura de curent, etc.). In aceasta situatie masina proiectata va functiona dar performantele masinii depinde de optimizarea realizata de proiectant.

**2. se proiecteaza o masina noua pentru care nu exista date experimentale.**

In acest caz pot exista doua situatii distincte:

- se proiecteaza **tipul de masina cunoscut** la alte valori ale puterii. Daca se cere proiectarea unei masini cu putere mare sau mica, la care nu exista date experimentale atunci, se face uz de extrapolarea informatiilor obtinute de la masinile executate

se proiecteaza **un nou tip de masina**. La proiectarea unui nou tip de masina este obligatorie optimizarea proiectarii masinii urmata de executie, masuratori si reprojectarea masinii.

## Caietul de sarcini

### **Caietul de sarcini** cuprinde:

- tema de proiectare**, Datele de baza ale organului antrenat, care definesc performantele principale ce trebuie satisfacute la proiectarea sistemului, constituie documentul de baza.
- lista parametrilor secundari**, Alte performante si caracteristici mai putin importante
- conditiile de exploatare**, variatia cuplului de sarcina, definirea unor marimi importante ca: serviciul de functionare normalizat si cuplul (puterea) echivalenta necesara antrenarii masinii de lucru, suprasolicitarile ce pot apare in exploatare, mediul in care lucreaza.
- Restrictiile**, pot fi caracteristicile energetice si dinamice, lista de parametrii secundari si conditii de axploatat dar si de alta natura referitoare la constructia, tehnologia de executie,
- Lista verificarilor si incercarilor**
- Ambalare,transport,livrare**

## Tema de proiectare

### **Tema de proiectare**

- 1.1. **Tipul masinii:**
  - clasic,
  - cu magnet permanent,
  - cu comutatie electronica,
- 1.2. **Tipul miscarii organului mobil:**
  - rotativ,
  - liniar,
  - oscilant.
- 1.3. **Regimul de lucru:**
  - motor,
  - generator,
  - altele.
- 1.4. **Tipul constructiv:**
  - pozitia axei rotorului,
  - modul de fixare,
  - tipul capatului de arbore,
  - forma constructiva,
  - modul de cuplare al sarcinii :
    - direct (axial),
    - indirect prin transmisie.

## Tema de proiectare

### 1.5. Serviciul nominal tip:

#### - servicii tip:

continuu,  
de scurta durata,  
intermitent periodic,  
intermitent periodic cu durata de pornire,  
intermitent periodic cu durata de pornire si de franare electrica,  
neintrerupt periodic cu sarcina intermitenta,  
neintrerupt periodic cu franari electrice,  
neintrerupt cu modificarea periodica de turatie,

#### - date suplimentare:

durata functionarii in sarcina: 10, 30, 60, 90 minute,  
durata ciclului la servicii intermitente: 10 minute,  
durata relativa de functionare: 15, 25, 40, 60 %,  
factorul de inertie FI pentru masina si sarcina sau,  
constanta acumularii energiei cinetice H.  
numarul de conectari pe ora:  $\leq 6, 60, 90, 120, 360, 480, 600$ .

## Tema de proiectare

### 1.6. Caracteristici statice de baza (nominal si maxim):

- puterea nominala,
- tensiunile nominale,
- numarul de poli,
- cuplul (forta) nominala,
- viteza nominala,
- cursa nominala,
- precizia nominala,
- rezolutia nominala,
- domeniul de viteza,

### 1.7. Sistemul de alimentare si comanda:

modul de alimentare: - direct de la retea,  
transformator,  
convertor static.

felul tensiunii - continua,  
alternativa: - sinusoidala,  
- nesinusoidala.

## Tema de proiectare

domeniul de valori ale tensiunii de alimentare:

eficace,  
maxima,  
domeniul de variatie.

domeniul de variatie al frecventei: - constant,  
- variabil, intervalul.

convertor :

redresor :

monofazat: - monoalternanta;

bialternata: - cu punct median,

- in punte;

trifazat: - cu punct median;

- in punte;

invertor:

tipul: - de tensiune;

- de curent;

forma marimii de iesire:

sinusal;

dreptunghiular;

comanda :

frecventa de comutatie constanta;

PWM;

## Lista parametrilor secundari

### *Lista parametrilor secundari*

2.1. Caracteristici energetice: – randament,  
factor de putere,  
cuplul (forta) maxima,  
tensiunea de scurtcircuit,  
pierderi in fier,  
curentul de mers in gol,  
pierderi in infasurari;

2.2. Caracteristici dinamice: – inertia,  
cuplul de pornire,  
curentul de pornire (scurtcircuit),  
frecventa de pornire,  
durata de pornire,  
durata de franare,  
acceleratia,  
viteza maxima,  
caracteristici viteza-timp;

## Lista parametrilor secundari

2.3. Lista componentelor principale: – stator,  
rotor,  
reductor,  
altele (indicator de pozitie, convertor);

Caracterizate prin:

- amplasare in masina:
  - interior,
  - exterior,
  - in prelungire;
- functia:
  - inductor,
  - indus,
  - comutatie,
  - amortizare,
  - compensare,
  - altele;
- structura principala:
  - dintat,
  - cu poli aparenti,
  - neted,
  - fara fier,

## Conditii de exploatare

3.1. Serviciul de functionare

3.2. Conditii de functionare:  
altitudinea fata de nivelul marii,  
temperatura mediului de racire,  
mediul climatic.

3.3. Tipuri de protectie: 

- impotriva atingerii,
- impotriva patrunderii corpurilor straine,
- impotriva patrunderii apei,
- impotriva patrunderii gazelor,
- impotriva suprasolicitarilor electrice si mecanice;

3.4. Tipuri de izolatie: 

- clase de izolatie,
- tensiuni de incercare a izolatiei;

3.5. Clasa de vibratie: 

- dezechilibru mecanic ,treapta de calitate,
- dezechilibru termic;

3.6. Zgomotul: 

- nivelul ponderat al presiunii acustice,
- nivelul ponderat al puterii acustice,

## Conditii de exploatare

### 3.7. Modul de racire:

- circuit deschis: - racire naturala,
  - racire proprie,
  - racire exterioara,
- cu ventilatie: - prin aspiratie, prin refulare,
  - cu ventilare a suprafetei exterioare;
- in circuit inchis: - direct: - cu gaz,
  - cu lichid;
  - indirect: - cu lichid,
    - cu gaz;
- sistem de racire combinat.

## Restrictii – constrangeri

### **Restrictii – constrangeri**

#### 4.1. Referitoare la geometria masinii:

diametrul maxim,  
lungimea maxima,  
diametrul exterior al circuitului magnetic,  
inaltimea maxima,  
diametrul arborelui,  
lungimea maxima a pachetelor,  
latimea minima a dintelui.

#### 4.2. Referitoare la solicitari magnetice, electrice si termice:

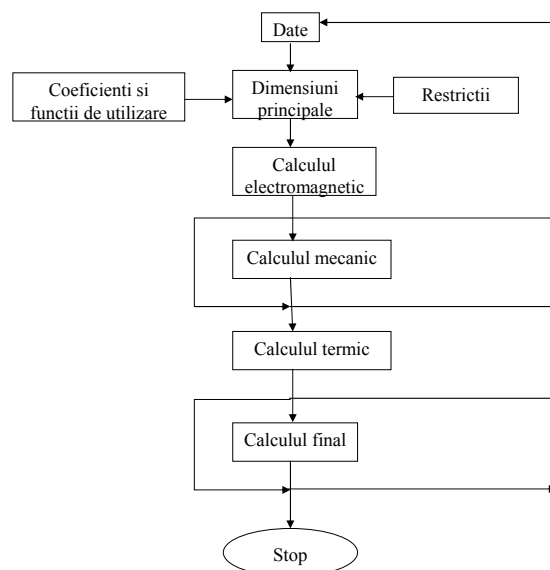
inductii maxime,  
densitati de curent,  
patura de curent,  
temperatura maxima,  
temperatura maxima a magnetului,

## Restriții – constrângeri

### 4.3. Referințe la materialele folosite:

- clasificarea materialelor:- magnetice: - feromagnetice,  
- neferomagnetice;
  - conductoare;
  - izolatoare și separatoare:
    - pentru feromagnetice,
    - pentru conductoare;
    - de construcție:- metalice,  
- sintetice;
  - specificarea materialelor folosite;
  - solicitările admise în materiale;
  - caracteristici de material;
    - curba de magnetizare  $B = f(H)$ ,
    - curbe de pierderi  $p = f(B)$ ,
    - masa specifică,
    - dimensiuni de fabricație;
- în plus pentru magneti permanenți:
- magnetizare :- radială,- paralelă,- orientată,
  - compoziția;
  - caracteristici:

## Algoritm de dimensionare ale unei mașini electrice



## Materiale magnetice

caracteristici de material:

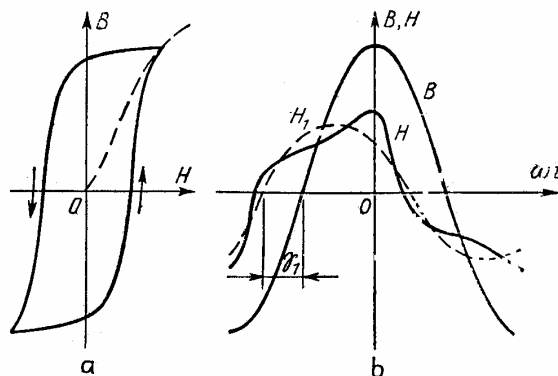
- curba de magnetizare  $B = f(H)$ ,
- curbe de pierderi  $p = f(B)$ ,
- masa specifica,
- caldura specifica,
- conductibilitatea termica,
- temperatura maxima,
- dimensiuni de fabricatie;

pentru magneti permanenti:

- magnetizare :
  - radiala,
  - paralela,
  - orientata,
- compozitia;
- caracteristici:
  - $B_r$  – inducția remanenta;
  - $H_c$  – campul coercitiv;
  - $\mu_r$  - permeabilitate relativa de revenire;
  - Coeficienti de temperatura.

## Legătura dintre inducția magnetică și solenația

la mers în gol:

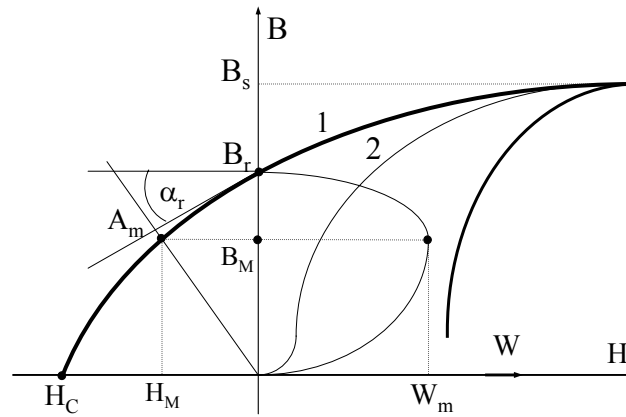


Flux sinusoidal ➡ solenație nesinusoidală

Coeficientul de forma al curentului  $k_f$



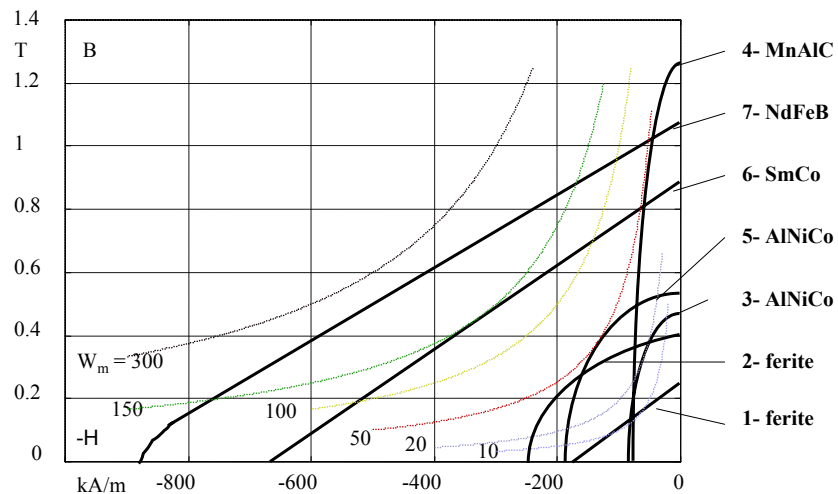
## Proprietățile magnetilor permanenți



Caracteristica de demagnetizare.

$$B = B_r + \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

## Proprietățile magnetilor permanenți



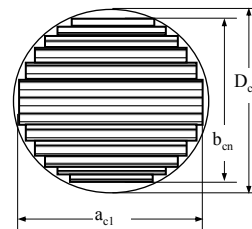
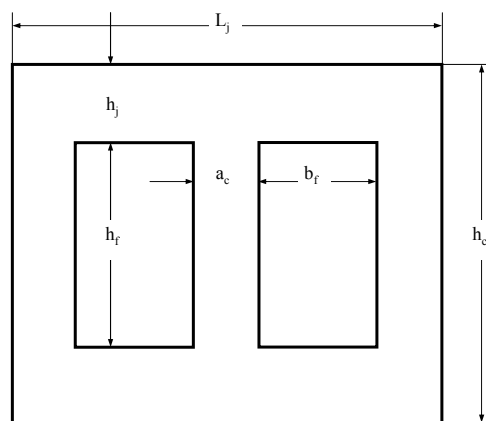
Curbele de demagnetizare ale materialelor magnetice

## Caracteristicile magneților

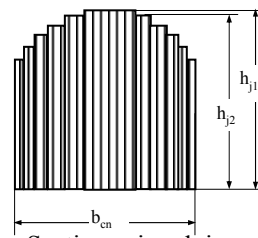
$\mu_r$  - permeabilitate relativă de revenire;  
 $K_T$  - Coeficienți de temperatură.

	ferite	alnico	Mn-Al-C	Sm-Co	Nd-Fe-B
$\mu_r$	1,1	1,6	1,9	1,05	1,1
$K_{IB} \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$	- 0,19	- 0,02	- 0,03	- 0,03	- 0,11
$K_{IH} \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$	- 0,20	- 0,20	- 0,20	- 0,20	- 0,60
$W_m \text{ KJ/m}^3$	20÷30	10÷70	50	160	250

## Dimensiunile principale ale miezurilor



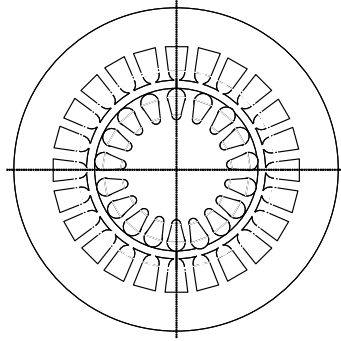
Sectiunea coloanei



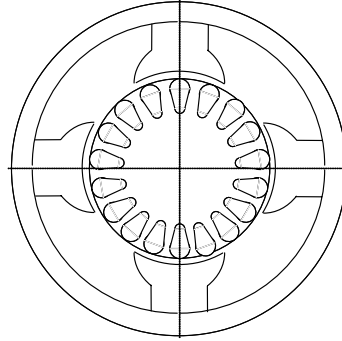
Sectiunea jugului

## Construcția circuitelor magnetice

Tipuri de circuite magnetice pentru mașini rotative

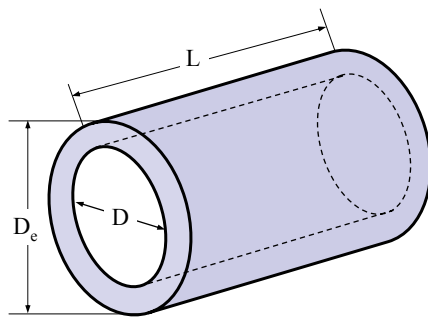


Cu poli înnecați sau  
cu  $\delta$  constant



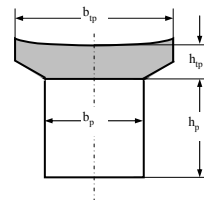
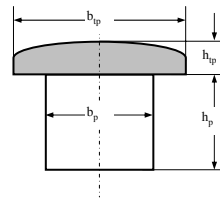
Cu poli aparenti sau  
cu  $\delta$  variabil

## Dimensiunile principale ale miezurilor

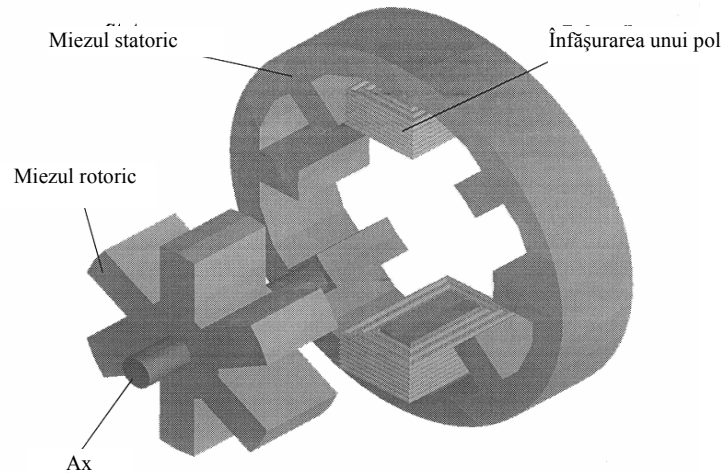


Miez statoric

Poli aparenti



## Masina cu poli aparenti pe ambele armaturi



## Constanta mașinilor de curent continuu

### 1. Mașina de curent continuu

T.e.m.  $U_e$  indusă în înfășurarea rotorică a unei mașini de curent continuu este:

$$U_e = \frac{p}{a} n \cdot 2 \cdot N \cdot \phi \quad [V]$$

Unde:  $a$  – numărul perechilor de căi de curent al înfășurării,  
 $p$  – numărul perechilor de poli ai mașinii,  
 $N$  – numărul de conductoare de pe rotor,  
 $n$  – viteza de rotație,  
 $\Phi$  – fluxul polar al mașinii, având expresia:

$$\phi = \alpha_i \cdot \tau \cdot L_i \cdot B_\delta \quad [Wb]$$

Unde:  $L_i$  – lungimea ideală [m];  
 $B_\delta$  – inducția maximă în întrefier [Wb/m<sup>2</sup>];  
 $\alpha_i$  - coeficient de acoperire polar, raportul dintre pasul polar  $\tau$  și  $b_p$  – lățimea tălpii polare.

## Constanta mașinilor de curent continuu

Ținând seama de puterea interioară (electromagnetică a mașinii)

$$P = U_e \cdot I \quad [VA]$$

unde:  $I$  – este curentul total al mașinii  $I = a \cdot I_a$  rezultă :

$$P = C \cdot D^2 \cdot L_i \cdot n \quad [VA]$$

unde  $C$  – constanta mașinii (constanta lui Esson) are expresia:

$$C = \pi^2 \cdot \alpha_i \cdot A \cdot B_\delta \quad [J / m^3]$$

unde s-a notat pătura de curent sau densitatea liniară de curent cu:

$$A = \frac{N \cdot I_a}{\pi \cdot D} = \frac{N \cdot I}{a \cdot \pi \cdot D} \quad [A / m]$$

## Constanta mașinilor de curent continuu

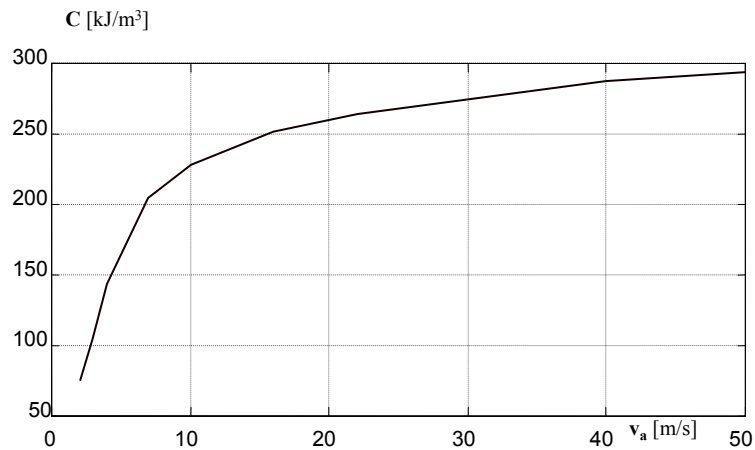
Solicitarea unei mașini este dată de efortul tangențial mediu, forța raportată pe suprafața a rotorului, calculată cu relația:

$$\sigma_s = \frac{M}{D} \cdot \frac{1}{\pi \cdot D \cdot L_i} = \frac{P}{\pi \cdot D^2 \cdot n} \cdot \frac{1}{\pi \cdot D \cdot L_i} = \frac{P}{\pi^2 \cdot D^2 \cdot L_i \cdot n}$$

Rezultă legătura dintre constanta mașinii  $C$  și efortul tangențial mediu  $\sigma_s$ :

$$C = \pi \cdot \sigma_s$$

## Constanta mașinilor de curent continuu



Constanta mașinii de curent continuu în funcție de viteza periferică a rotorului.

## Constanta mașinilor de curent alternativ

### 2. Mașina de inducție și mașina sincronă

T.e.m.  $U_e$  indusă în înfășurarea unei faze este:

$$U_e = \sqrt{2}\pi \cdot k_f \cdot f \cdot W \cdot K_b \cdot \phi = \sqrt{2}\pi \cdot k_f \cdot \frac{p \cdot n_s}{60} \cdot N_{sp} \cdot K_b \cdot \phi \quad [V]$$

Unde:  $f$  - frecvența tensiunii de alimentare,

$N_{sp}$  - numărul de spire pe fază al înfășurării induse,

$K_b$  - factorul de bobinaj al înfășurării induse,

$\Phi$  - fluxul polar sau fascicular al mașinii,

$k_f$  - coeficientul de formă,

$n_s$  - viteza de sincronism a mașinii.

Densitatea liniară de curent va fi:

$$A = \frac{N_{cd} \cdot I_a}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot m \cdot N_{sp} \cdot I}{\pi \cdot D} \quad [A/m]$$

## Constanta mașinilor de curent alternativ

Puterea aparentă a mașinii cu  $m$  – faze rezultă:

$$S = m \cdot U_e \cdot I = C \cdot D^2 \cdot L_i \cdot \frac{n_s}{60} \quad [VA]$$

Constanta mașinii:

$$C = \frac{\pi^3}{2\sqrt{2}} k_f \cdot k_b \cdot \alpha_i \cdot A \cdot B_\delta \quad [J / m^3]$$

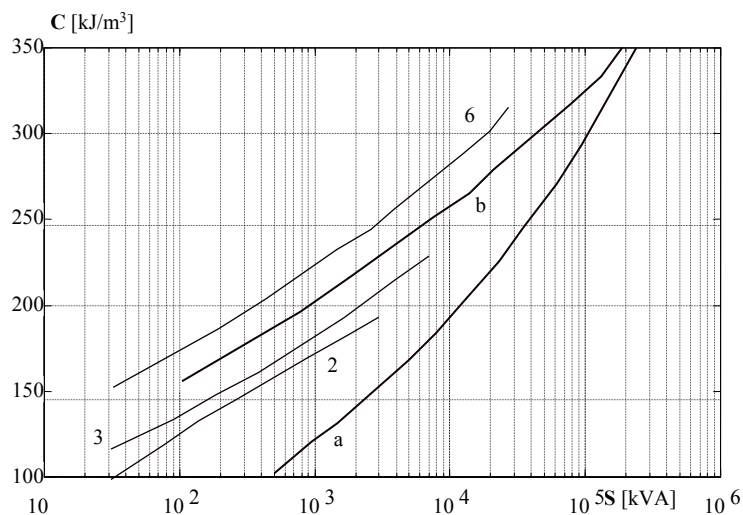
La mașini electrice rotative se poate exprima și o constantă de cuplu. Putere este legată de cuplul  $T$  al mașinii prin relația:

$$S = T \cdot \Omega = T \cdot \frac{2\pi \cdot n_s}{60} = C \cdot D^2 \cdot L_i \cdot \frac{n_s}{60} \quad [VA]$$

Rezultă constanta de cuplu

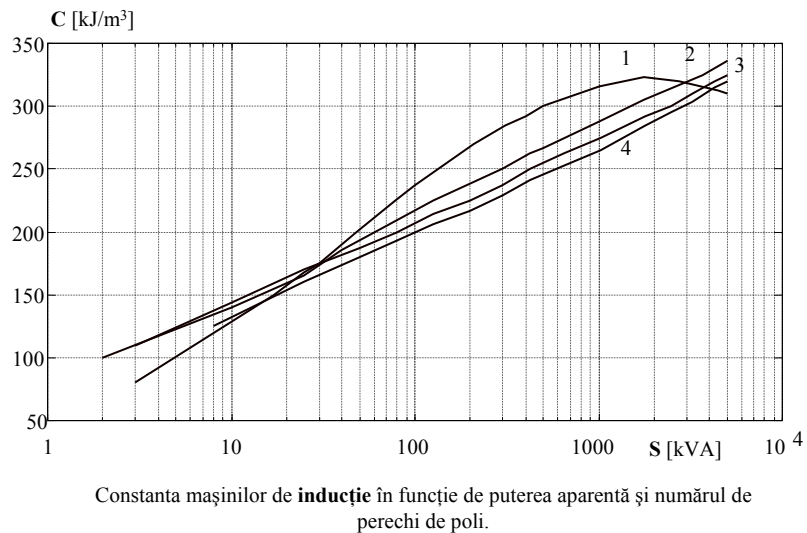
$$C_T = \frac{C}{2 \cdot \pi} = k_T \cdot A \cdot B_\delta \quad [Nm / m^3]$$

## Constanta mașinilor de curent alternativ



Constanta mașinilor **sincrone** în funcție de putere. a - pentru turbogeneratoare, b- pentru hidrogeneratoare cu  $p > 10$ , 2,-3,-6- pentru mașini cu 2,3,6 poli aparenti.

## Constanta mașinilor de curent alternativ



## Constanta transformatoarelor

### 3. Transformator

T.e.m. indusă într-o înfășurare a transformatorului este:

$$U_e = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N_{sp} \cdot \phi \quad [V]$$

Unde  $\phi$  – fluxul fascicular din coloana transformatorului

$$\phi = A_c \cdot B_c = \frac{\pi}{4} D_c^2 \cdot k_u \cdot B_c \quad [Wb]$$

Unde:  $k_u$  – coeficient de umplere cu fier a secțiunii cercului circumscris coloanei transformatorului,

$B_c$  – inducția în coloana transformatorului,

$D_c$  – diametrul coloanei (cercului circumscris coloanei).



## Constanta transformatoarelor

Notând densitatea liniară de curent cu:

$$A = \frac{N \cdot I}{h_c} = \frac{2 \cdot N_{sp} \cdot I}{h_c} \quad [A/m]$$

unde:  $h_c$  – înălțimea coloanei transformatorului

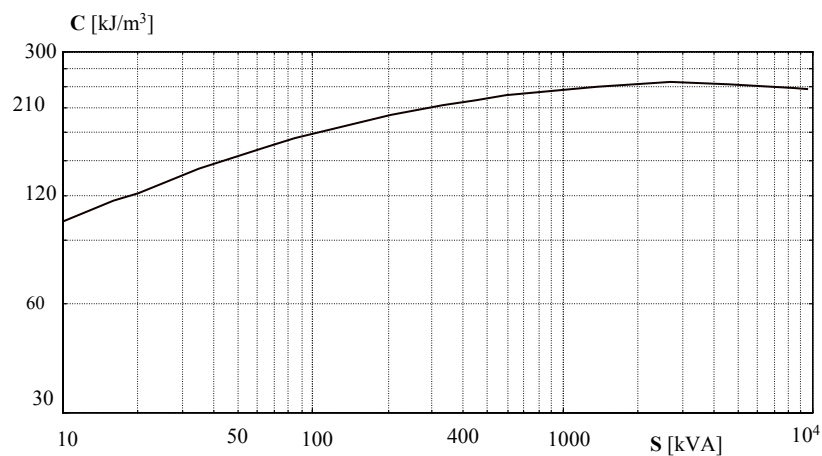
puterea interioară rezultă:

$$S_e = m \cdot U_e \cdot I = C \cdot D_c^2 \cdot h_c \cdot f \quad [VA]$$

unde  $C$  – constanta mașinii are expresia:

$$C = \frac{\pi^2}{4\sqrt{2}} m \cdot k_u \cdot A_c \cdot B_c \quad [J/m^3]$$

## Constanta transformatoarelor



Constanta transformatoarelor trifazate cu coloane în ulei în funcție de putere.

## Masina cu poli aparenti pe ambele armaturi

T.e.m. indusă într-o înfășurare polara, in cazul variatiei inductiei

$$\Delta B_{\delta} = 2 \cdot B_{\delta} \cdot \left(1 - \frac{1}{k_C}\right) \quad [T_e]$$
$$U_e = 2 \cdot N_{sp} \cdot A_p \cdot Z_R \cdot n \cdot 2 \cdot B_{\delta} \cdot \left(1 - \frac{1}{k_C}\right) \quad [V]$$

Unde:

$A_p$  este aria polului statoric

$Z_R$  numarul de dinti (poli) rotorici

$N_{sp}$  numarul de spire pe pol statoric

$B_{\delta}$  inductia maxima in intrefier la poli aliniati

$k_C$  factorul lui Carter

## Masina cu poli aparenti pe ambele armaturi

Notând densitatea liniară de curent cu:

$$A = \frac{2 \cdot N_{sp} \cdot I}{k_f \cdot \pi \cdot D} \quad [A/m]$$

$k_f$  factorul de forma a curentului

puterea interioară rezultă:

$$S_e = Z_S \cdot U_e \cdot I = C \cdot D^2 \cdot L_i \cdot n \quad [VA]$$

unde  $C$  – constanta masinii are expresia:

$$C = \frac{Z_S}{Z_R} \pi^2 \cdot k_f \cdot A \cdot B_{\delta} \cdot \left(1 - \frac{1}{k_C}\right) \quad [J/m^3]$$

## Constanta mașinilor electrice

Mașina de curent continuu

$$C = \pi^2 \cdot \alpha_i \cdot A \cdot B_\delta \quad [J/m^3] \quad C \cong (5 \div 8) \cdot A \cdot B_\delta \quad [J/m^3]$$

Mașini de curent alternativ rotative

$$C = \frac{\pi^3}{2\sqrt{2}} k_f \cdot k_b \cdot \alpha_i \cdot A \cdot B_\delta \quad [J/m^3] \quad C = (5 \div 10) \cdot A \cdot B_\delta \quad [J/m^3]$$

Transformator

$$C = \frac{\pi^2}{4\sqrt{2}} m \cdot k_n \cdot A_c \cdot B_c \quad [J/m^3] \quad C = (3,5 \div 5) \cdot A_c \cdot B_c \quad [J/m^3]$$

$$50 < C < 350 \text{ kJ/m}^3$$

## Determinarea volumului de fier

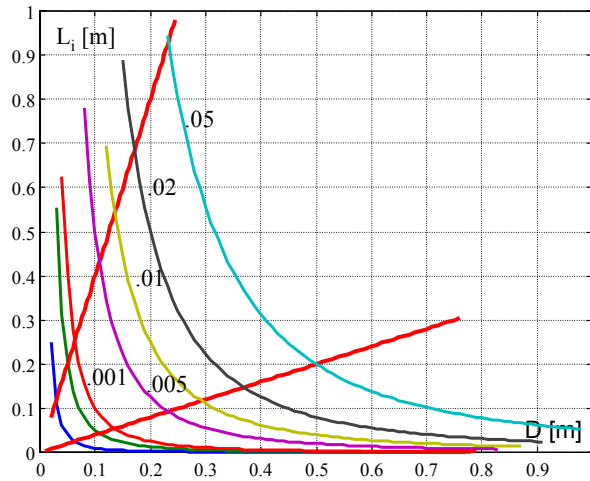
Volumul de fier al mașinii rotative

$$D^2 \cdot L_i = \frac{S}{C \cdot n_s} \quad [m^3]$$

Volumul de fier al transformatorului

$$D^2 \cdot h_c = \frac{S}{C \cdot f} \quad [m^3]$$

## Dependenta lungimii de diametru



$$\gamma = \frac{S}{C \cdot n_s}$$

$$\gamma = \frac{2}{70 \cdot 50} = 0,00057$$

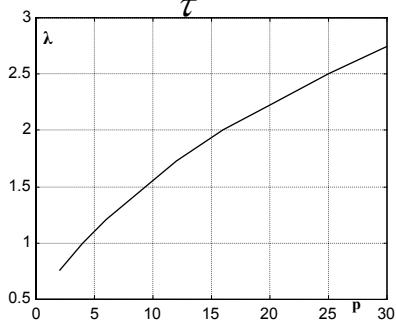
$$\gamma = \frac{1000}{350 \cdot 50} = 0,057$$

## Alegerea raportului dintre lungimea ideală și pasul polar

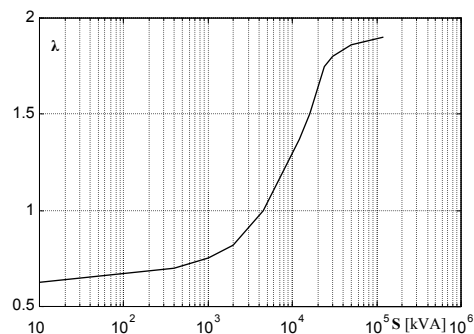
$$\lambda = \frac{L_i}{\tau}$$

Mașini sincrone

$$\lambda \cong 0.5 \cdot \sqrt{p}$$

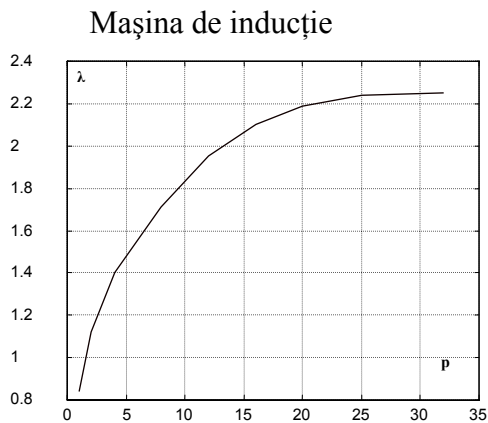


Valorile medii ale raportului  $\lambda$  la mașinile sincrone cu poli aparenti



Valorile medii ale raportului  $\lambda$  la mașinile sincrone cu poli innecati.

## Alegerea raportului dintre lungimea ideală și pasul polar



Valorile medii ale raportului  $\lambda$  pentru mașini de inducție.

$$\lambda = 0.8 * \sqrt[3]{p}$$

Mașini de cc.

$$\lambda = 0.5 \dots 1.0$$

Masina cu poli aparenti pe ambele armaturi

$$\lambda = \frac{\pi}{2} \frac{1}{\sqrt[3]{p^2}}$$

## Alegerea factorului de configurație geometrică

La transformatoare se definește factorul de suplețe sau factorul de configurație geometrică:

$$\lambda = \frac{\pi \cdot D_m}{H_b}$$

Valorile depind de :

- puterea transformatorului,
- tensiunea transformatorului,
- sistemul de răcire

Transformatoare trifazate în ulei :

$$1.0 \leq \lambda \leq 2.5$$

Raportul dintre lungimea jugului și coloanei

La transformatoare trifazate în ulei:

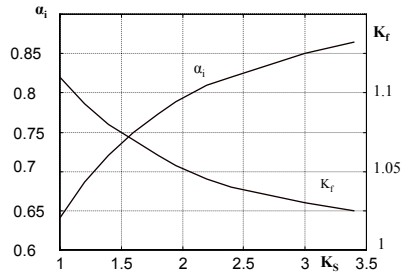
$$1.1 \leq \lambda_{Fe} \leq 1.8$$

$$\lambda_{Fe} = \frac{L_j}{H_c}$$

## Alegerea factorului de acoperire al polului

$$\alpha_i = \frac{b_i}{\tau} \quad \text{Apropiat de} \quad \alpha_i = \frac{2}{\pi}$$

Masini de inductie      Depinde de factorul de saturatie  $k_s$



Coefficientul de acoperire polar  $\alpha_i$  si factorul de forma  $k_f$  in functie de factorul de saturatie  $k_s$ .

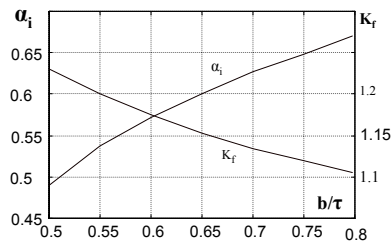
Factorul de forma  $k_f$  tine seama de armonicile de tensiuni induse

Masini de inductie monofazate cu colector

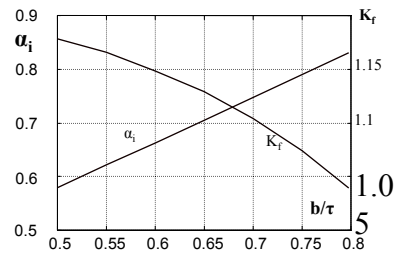
$$\alpha_i = 0.75$$

## Alegerea factorului de acoperire al polului

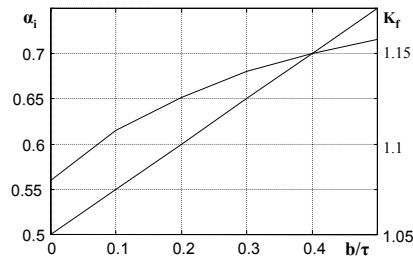
Masini sincrone



Coefficientul de acoperire polar  $\alpha_i$  si factorul de forma  $k_f$  la masinile sincrone cu poli aparent cu intrefier constant.



Coefficientul de acoperire polar  $\alpha_i$  si factorul de forma  $k_f$  la masinile sincrone cu poli aparent cu intrefier variabil.



Coefficientul de acoperire polar  $\alpha_i$  si factorul de forma  $k_f$

## Alegerea factorului de acoperire al polului

Masini de curent continuu      Depinde de existenta  
polilor de comutatie

$$0.6 \leq \alpha_i \leq 0.7 \quad \text{Pentru masini cu poli de comutatie}$$

$$0.65 \leq \alpha_i \leq 0.75 \quad \text{Pentru masini fara poli de comutatie}$$

Factorul de saturatie partial

$$k_s = \frac{F_{m\delta} + F_{mdS} + F_{mdR}}{F_{m\delta}} \cong 1.1 \dots 2.1$$

Masina cu poli aparenti pe ambele armaturi

$$0.3 \leq \alpha_i \leq 0.5$$

Cu conditia       $b_{pS} = b_{pR}$

## Determinarea diametrului

Pentru masini electrice rotative:      
$$D = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot S \cdot p}{C \cdot \lambda \cdot n}}$$

Valor mai exacte cu relatia :

$$D = a + b \cdot \sqrt[3]{\frac{S \cdot p}{\lambda \cdot n}}$$

**a-** depinde de :- forma constructiva

- tipul masinii,
- tensiunea masinii.

**b.-** depinde: - tipul masinii,  
- viteza de rotatie,  
- sistemul de racire a masinii.

## Determinarea diametrului

Tipul masinii	a [cm]	b [1/cm <sup>3</sup> ]			
		p = 1	p = 2	p = 3	p = 4
Masina de curent continuu	6	-	1.24	1.24	1.24
Masina sincrona cu poli aparent , U mare	15	1	1	1	1
Masina sincrona cu poli aparent	10	-	1.2	1.2	1.2
Masina sincrona cu poli innecati	15	1.06	1.1	-	-
Masina de inductie cu rotor bobinat	4-6	1.3	1.25	1.3	1.35
Masina de inductie cu rotor in colivie	2.5	1.3	1.3	1.35	1.4

Diametrul exterior la masinile fara poli aparenti:

Masini de inductie:

$$D_e = D \cdot \left( 1 + \frac{0.725}{p} \right) + a_e \text{ [m]} \quad \begin{array}{l} a_e = 0.07, U \leq 3kV \\ a_e = 0.13 \text{ [m]} \end{array}$$

Masini sincrone:

$$D_e = D \cdot \left( 1 + \frac{0.66}{p} \right) + a_e \text{ [m]} \quad \begin{array}{l} a_e = 0.06, U \leq 3kV \\ a_e = 0.12 \text{ [m]} \end{array}$$

## Determinarea lungimii masinii

$$L_i = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p}$$

Daca  $L_i < 0.2$  m sau colivie turnata  $L_a = L_i$

$$L_a = n_c \cdot b_c + (n_c + 1) \cdot l_p$$

$$l_p = 0.04 \dots 0.08 \text{ [m]}$$

$$b_c = 0.01 \dots 0.015 \text{ [m]}$$

Lungimea polului :

$$L_p = L_a - (0.05 \dots 0.1) \text{ [m]}$$

Masina cu poli aparenti pe ambele armaturi

$$L_p = \lambda \cdot D$$



## Determinarea intrefierului

Intrefier tehnic realizabil  $\delta_{t\min} = 0.2 \cdot 10^{-3} [m]$

$$\delta_{\min} \geq D \cdot 10^{-3} [m]$$

Valoarea intrefierului depinde de :

- tipul masinii
- sollicitarile elctrice si magnetice,
- puterea si dimensiunile geometrice.

$$\delta = k_{\delta} \cdot \frac{\tau \cdot A}{B_{\delta}}$$

$$c.c \quad k_{\delta} = 27 \dots 36 \cdot 10^{-5}$$

$$s.cu \text{ poli } \delta = ct. \quad k_{\delta} = 70 \cdot 10^{-5}$$

$$s.cu \text{ poli } \delta = var. \quad k_{\delta} = 45 \cdot 10^{-5}$$

$$s. \delta = ct. \quad k_{\delta} = 25 \cdot 10^{-5} [m]$$

Masina de inductie:

$$\delta = 3 \cdot (4 + 7 \cdot \sqrt{D \cdot L_a}) \cdot 10^{-5} [m]$$

## Determinarea dimensiunilor polilor

Fluxul fascicular

$$\Phi = \alpha_i \cdot \tau \cdot L_i \cdot B_{\delta}$$

Fluxul prin pol mai mare din cauza scaparilor

$$\Phi_p = (1.1 \dots 1.25) \cdot \Phi$$

Latimea polului

$$b_p = \frac{\Phi_p}{L_p \cdot B_p}$$

Inaltimea talpii polare

$$h_p = \frac{b_i - b_p}{2} \cdot \frac{B_{\delta}}{B_p}$$

Solenatia de excitatie

$$F = 2 \cdot \delta \cdot \frac{B_{\delta}}{\mu_0} \cdot k_s$$

Inaltimea polului

$$h_p = \frac{1}{b_i - b_p} \cdot \frac{F}{j \cdot k_{uf}}$$

$K_{uf}$  - factor de umplere

## Principiul similitudinii

Dependența unei serii de mașini de puterea  $S$  a mașinii ( după Vidmar ) în ipoteza că inducția magnetică și densitatea curentului electric sunt aceleași în toate mașinile seriei.

Exponentul puterii	Relația	$A \sim L$	$A \sim \sqrt{L}$	$A = \text{ct.}$
Dimensiuni liniare	$L$	1/4	2/7	1/3
Masa mașinii	$G \sim L^3$	3/4	6/7	1
Masa pe unitate de putere	$G = G/S$	-1/4	-1/7	ct.
Masa înfășurărilor	$G_{Cu} \sim G_{Al}$	3/4	5/7	2/3
Prețul	$Pr$	3/4	5/7	2/3
Preț specific	$pr = Pr/S$	-1/4	-1/7	ct.
Pierderi	$\sum p$	3/4	5/7	2/3
Pierderi relative	$\sum p/S$	-1/4	-2/7	-1/3
Moment de inerție	$J$	5/4	10/7	5/3
Timp de pornire	$T_p \sim J/S$	1/4	5/7	2/3
Alunecarea	$s \sim \sum p/S$	-1/4	-2/7	-1/3
Curentul de mers în gol	$I_0 \sim S/A$	-1/4	-1/7	ct.

## Principiul similitudinii

Dependența unei serii de mașini de puterea  $S$  a mașinii

Exponentul puterii	Relația	$A \sim L$	$A \sim \sqrt{L}$	$A = \text{ct.}$
Dimensiuni liniare	$L$	1/4	2/7	1/3
Moment de inerție	$J$	5/4	10/7	5/3
Timp de pornire	$T_p \sim J/S$	1/4	5/7	2/3
Încălzirea înfășurărilor la pornire	$v_p \sim J/G_{Cu}$	1/2	5/7	1
Frecvența de conectare	$\sim \sum p/J$	-1/2	-5/7	-1
Încălzirea mașinilor închise	$v$	1/4	3/56	ct.
Încălzirea mașinilor ventilate	$v$	1/16	-1/14	-1/4
Puterea pentru ventilație	$p_v$	5/4	10/7	5/3
Viteza aerului	$v_{ae} \sim L$	1/4	2/7	1/3
Debitul de aer	$Q_{ae} \sim L^2 v_{ae}$	3/4	6/7	1
Presiunea aerului	$p_{ae} \sim L^2$	1/2	4/7	2/3
Suprafața laterală	$S_l \sim L^2$	1/2	4/7	2/3