

Proiectarea masinilor electrice

Dimensionarea înfășurărilor

Dimensionarea înfășurărilor

- În ce constă ?
- Alegerea conductoarelor (secțiune, dimensiuni) pentru bobine, a izolației conductoarelor.
 - Alegerea tipului de înfășurare
 - Determinarea numărului de spire, a numărului de conductoare
 - Determinarea locului ocupat de conductoare (bobine) și a izolației necesare.
 - Determinarea dimensiunilor bobinajelor necesare pentru calculul parametrilor.

Determinarea celor două înfășurări astfel ca:

- Să realizeze transformarea energiei cu randament dat
- Să aibe parametrii ceruți
- Să poată disipa pierderile ce au loc
- Să aibe rezistență mecanică bună
- Să ocupe cât mai puțin spațiu

Densitățile de curent la mașinile electrice rotative

Material			Cupru			Aluminiu		
P _n (Kw)			0,8...15	20...75	100... 200	0,8... 15	20...75	100... 200
J (A/mm ²)	Stator	Protejat	6,5...5	6...5	5,5...4,5	3...4	2,5...3,5	2...3
		Închis	6...5	5,5...4,5	4,5...4	2...3,5	2...3	1,5..3
	Rotor	Bobinat	7...5	6...5	5,5...4,5	3...4	2,5...4	2,5...3,5
		Bare	8...6	7...5	6,5...5	3...5	3...4,5	2,5...4
		Inele	6...4	5,5...3,5	5...3	2...3,5	2...3	1,5...2,5

Alegerea conductoarelor pentru bobine, a izolației conductoarelor

Materialul conductoarelor este de obicei impus dar poate fi ales și de proiectant

1. Calculul secțiunii conductoarelor

$$A_{xp} = \frac{I_{xf}}{j \cdot a}$$

a – număr de căi de curent, egal cu produsul numărului de conductoare în paralel și numărul secțiilor paralele.

în funcție de secțiunea conductoarelor se recomandă folosirea:

- dacă $A_{xp} < 3 \text{ mm}^2$ conductoare rotunde,
- dacă $A_{xp} < 10 \text{ (20) mm}^2$ conductoare rotunde sau dreptunghiulare,
- dacă $A_{xp} < 100 \text{ (60) mm}^2$ conductoare dreptunghiulare,
- dacă $A_{xp} > 80 \text{ mm}^2$ conductoare dreptunghiulare în paralel,

La mașini electrice rotative din motive tehnologice se preferă utilizarea conductoarelor rotunde de secțiune mică, legate în paralel, în locul celor mai groase sau profilate.

Dimensiunile conductoarelor alese trebuie să corespundă standardelor în vigoare.

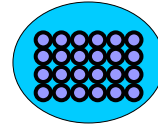
Valori normalizate

Alegerea conductoarelor pentru bobine, a izolației conductoarelor

2. Materialul izolației conductorului trebuie să corespundă clasei de izolație

Grosimea izolației conductoarelor depinde de:

- Materialul folosit
- Dimensiunile conductoarelor
- Tensiunea înfășurării

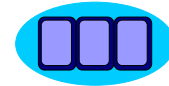


La **conductoare rotunde** până la $d_x = 3$ mm și **profilată** cu latură mai mică $a_x < 6$ mm se folosește **email tereftalic**. Grosimea bilaterală a izolației:

$$g_{xiz} = 0.025 + 0.0185 \cdot d_x \langle a_x \rangle \quad [mm]$$

La **conductoare rotunde** până la $d_x = 3$ mm și **profilată** cu latură mai mică $a_x < 6$ mm se folosește și **email și bumbac** (mătase, sticlă, țesătură de sticlă, etc.) în mai multe straturi. Grosimea izolației:

$$g_{xiz} = 0.19 + 0.03 \cdot d_x \langle a_x \rangle + \frac{U_{xf}}{800} \quad [mm]$$



Alegerea tipului de înfășurare

3. Alegerea tipului de înfășurare se face în funcție de puterea , tensiunea și curentul înfășurării.

- Înfășurări repartizate: Pentru mașinile de puteri mici ($S_N \leq 10$ kVA) care se construiesc numai la joasă tensiune, se folosesc **înfășurări într-un strat cu bobine din conductor rotund**.
- Pentru mașinile de puteri medii se folosesc atât înfășurări într-un strat cât și **în două straturi cu bobine din conductor rotund și profilat**, la joasă tensiune.
- Mașinile de puteri mari se construiesc la tensiuni până La 15 kV, având înfășurări în **două straturi cu bobine din conductor profilat sau bare**.
- Înfășurări concentrate: Pentru mașinile rotative înfășurările sunt de joasă tensiune și se folosesc bobine stratificate din conductor rotund sau profilat și spiralate din conductor profilat.

Alegerea tipului de înfășurare

Înfășurările transformatoarelor

Sub 1kV se folosesc: I < 150 A, înfășurări cilindrice sau stratificate,
 I > 150 A, înfășurări cilindrice sau spiralate
 I > 800 A, înfășurări spiralate

Peste 1 kV se folosesc : I < 50 A, înfășurări în galeți sau stratificate,
 I < 150 A, înfășurări stratificate sau în galeți continuu,
 I >150 A, înfășurări în galeți continuu.

Dimensiunile finale ale conductoarelor profilate se stabilesc la dimensionarea înfășurării.

Determinarea numărului de spire, a numărului de conductoare

4. Numărul de spire pe fază (numărul de conductoare pe creștătură) se determină din expresia t.e.m.pentru înfășurări induse

a. Mașina de inducție și mașina sincronă

$$N_{sp} = \frac{U_e}{\sqrt{2}\pi \cdot k_f \cdot \frac{p \cdot n_s}{60} \cdot K_b \cdot \phi}$$

Unde: f - frecvența tensiunii de alimentare,
 N_{sp} - numărul de spire pe fază al înfășurării induse,
 K_b - factorul de bobinaj al înfășurării induse,
 k_f - coeficientul de formă,
 n_s - viteza de sincronism a mașinii.
 Φ - fluxul polar sau fascicular al mașinii, având expresia

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

Unde: L_i - lungimea ideală [m];
 B_δ - inducția maximă în întrefier [Wb/m²];
 α_i - coeficient de acoperire polar, raportul dintre pasul polar τ și b_p - lățimea tălpii polare.

Determinarea numărului de spire, a numărului de conductoare

Numărul de conductoare pe creștătură:
$$n_c = \frac{a \cdot N_{sp}}{p \cdot q}$$

n_c – trebuie să fie întreg. Poate fi impar la înfășurări într-un strat și la dublu strat în cazuri speciale.

q – numărul de creștături pe pol și fază.

Pentru rotoarele bobinate:

Se adoptă q_r – numărul de creștături pe pol și fază în rotor.

$$q_R = q_S \pm 1$$

Se alege numărul de conductoare pe creștătură

$$n_{cR} = 2, 4, 6, \dots$$

Astfel încât tensiunea la inele să fie în limitele recomandate

În toate cazurile condiția de simetrie a căilor în paralel trebuie să fie îndeplinită

$$\frac{2 \cdot p}{a} = ni$$

Determinarea numărului de spire, a numărului de conductoare

b. Mașina de curent continuu

Numărul total de conductoare

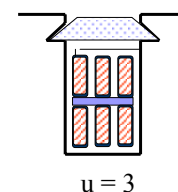
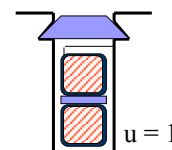
$$N = \frac{U_e}{\frac{p}{a} n \cdot 2 \cdot \phi}$$

Numărul conductoarelor pe creștătură

$$n_c = \frac{N}{Z} = 2 \cdot u \cdot n_s$$

n_s – numărul de conductoare pe secție,

u – numărul de secții pe creștătură



c. Transformator

$$N_{sp} = \frac{U_e}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot \phi}$$

Unde ϕ – fluxul fascicular din coloana transformatorului

$$\phi = A_{cFe} \cdot B_c \quad [Wb]$$

Determinarea numărului de spire, a numărului de conductoare

d. Înfășurări de excitație

Se cunoaște solenația de excitație, θ_E și tensiunea normalizată pentru excitație, U_E

Dacă excitația este mixtă, se determină separat cele două solenații.

Cunoscând dimensiunile polului se aproximează lungimea medie a unei spire, L_{sE}

Rezultă secțiunea conductorului

$$A_{cE} = \frac{2 \cdot \rho \cdot L_{sE} \cdot \theta_E}{U_E}$$

Forma și dimensiunile conductorului se determină în funcție de pasul polar și viteza, căutând executarea înfășurării în cât mai puține straturi.

Curentul de excitație

Numărul de spire

$$I_E = j \cdot A_{cE}$$

$$w_E = \frac{\theta_E}{I_E \cdot K_b}$$

Determinarea locului ocupat de conductoare (bobine) și a izolației necesare

Înfășurarea repartizată este plasată în creștături

Determinarea numărului de creștături

- Numărul de creștături pe pol și fază $q = \text{număr întreg}$ sau $p \cdot q = \text{număr întreg}$

$q = 1,5 \div 6$ pentru mașin de inducție și hidrogenatoare sincrone

$q = 5 \div 12$ pentru turbogeneratoare sincrone

- Pasul dentar să îndeplinească condiția

$0,05 \leq \frac{\tau_d}{\tau} \leq 0,2$ pentru mașin de inducție

$2,5 \leq \tau_d \leq 6,5$ [cm] pentru hidrogenatoare sincrone

$4 \leq \tau_d \leq 12$ [cm] pentru turbogeneratoare sincrone

Determinarea locului ocupat de conductoare (bobine) și a izolației necesare

La mașini de curent continuu

Diametrul maxim al colectorului

$$D_{k \max} = D \cdot \left(1 - \frac{D}{4,7}\right) \quad [m]$$

$$v_k = \pi \cdot D_{k \max} \cdot \frac{n}{60} \leq 35 \left[\frac{m}{s}\right] \quad \text{uzual} \quad 15 \div 25 \quad \left[\frac{m}{s}\right]$$

Lățimea minimă a lamelei colectorului

$$b_{k \min} = 3 \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{D}}{2}\right) \quad [mm] \quad \text{Valori normalizate}$$

Numărul de lamele al colectorului se determină împreună cu numărul de Crestături, numărul de secții pe crestătură, u , și numărul de conductoare Pe secție n_s , care trebuie să fie întreg și cât mai mic

$$K = \frac{\pi \cdot D_k}{b_k} \quad \frac{N}{K} = 2 \cdot n_s \quad K = u \cdot Z$$

Determinarea locului ocupat de conductoare (bobine) și a izolației necesare

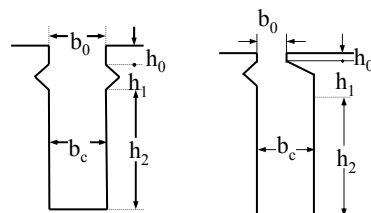
Alegerea tipului de crestătură se face în funcție de :

- Puterea mașinii,
- Tensiunea de fază
- Forma secțiunii conductorului

Două tipuri de bază de crestături: cu pereți paraleli (dreptunghiulari)
cu pereți ne-paraleli (trapezoidal, oval,)

➔ cu pereți paraleli

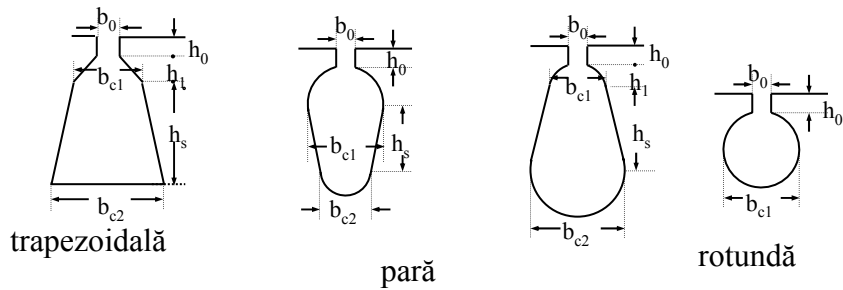
dreptunghiular



Crestături

Tipuri de crestături

» cu pereți neparaleli



• se determină deschiderea crestăturii cu relația:

$$b_0 = d_{iz} + (1 \dots 1,5) \text{ mm}$$

Crestături

Dimensiunile crestăturii se determină în funcție de numărul de conductoare din crestătură N_{c1} și pornind de la anumite limite pentru următoarele rapoarte constructive:

$$\beta = \frac{b_c}{t_t} = 0,4 \dots 0,5$$

$$\beta_1 = \frac{h_c}{\tau} = 0,1 \dots 0,15$$

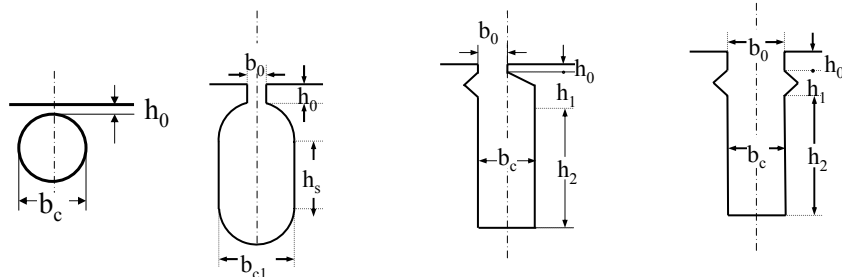
$$\beta_2 = \frac{h_c}{b_c} = 2,5 \dots 5,5$$

inchise

semiinchise

semideschise

deschise

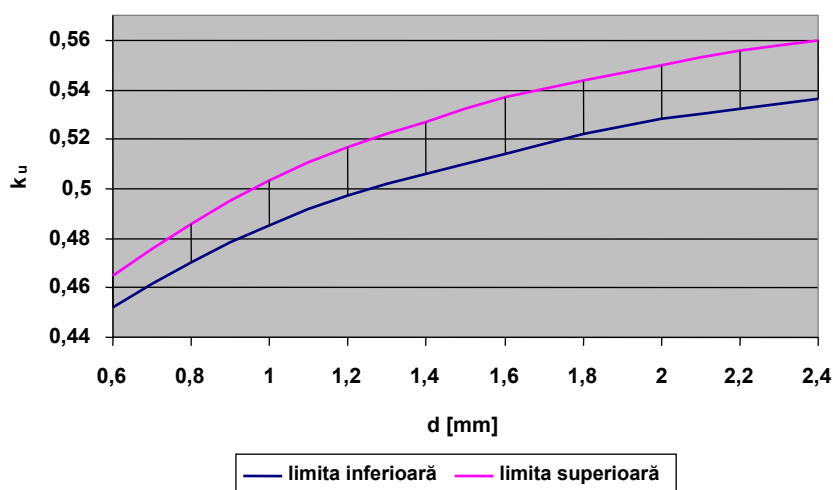


Determinarea locului ocupat de conductoare (bobine) și a izolației necesare

Se dimensionează creștătura ținând seama de :

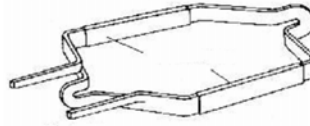
- Numărul și forma conductoarelor în creștătură
- Tipul de bobinaj și tehnologia de bobinare
- Solicitățile magnetice în dinți și jug $B_{dmax} = 1,7 \div 2,1 \text{ T}$
 $B_{dmed} = 1,4 \div 1,7 \text{ T}$
- Izolația creștăturii, dependent de tensiune și clasa de izolație
 - Izolația secției sau bobinei
 - Izolația capetelor frontale
 - Izolația creștăturii
 - Izolația între straturi
 - Izolația sub pană
- Dimensiunile constructive ale penelor, razelor de racordare, etc.

Factorul de umplere k_u al creștăturii

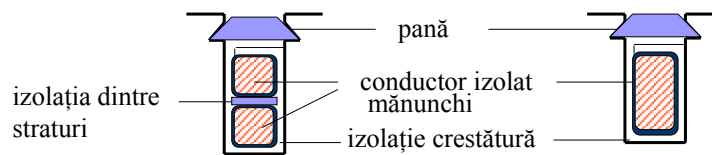


Determinarea dimensiunilor bobinajelor necesare pentru calculul parametrilor

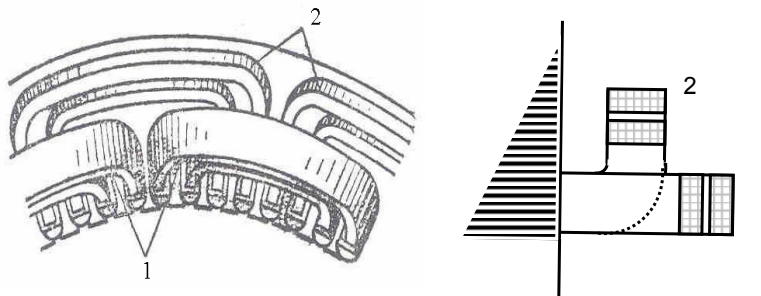
Se calculează lungimea medie a spirei și lungimile porțiunilor componente (în creștătură, capete frontale), ținând seama de deschiderea bobinelor



Se calculează masa conductoarelor înfășurărilor, ținând seama și de conductoarele de legătură



Dimensiunile axiale și radiale ale capetelor de bobină



Dimensiunile bobinelor concentrate

