

**CONCEPTIA ASISTATA
DE CALCULATOR A
MASINILOR
ELECTRICE**

CURS



Conf. Leonard Livadaru
Univ. Tehnica "Gh. Asachi" Iasi
2024 - 2025

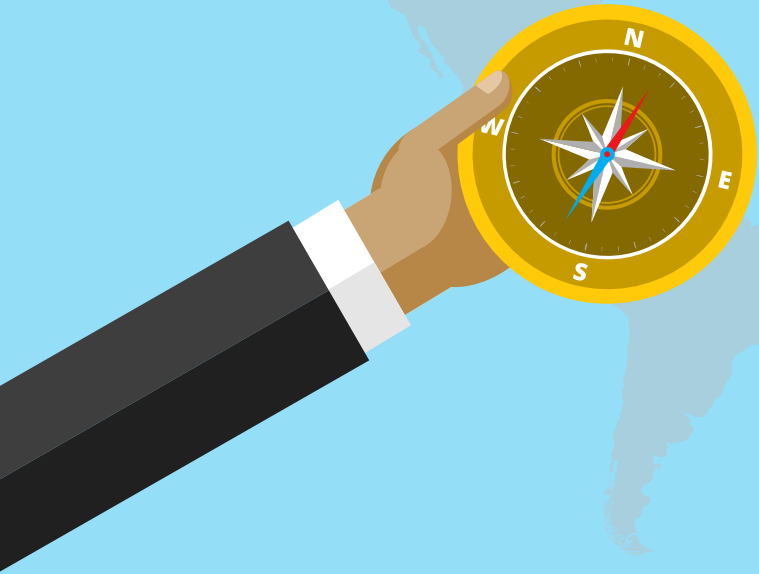


**PRINCIPII DE FUNCȚIONARE A
MAȘINILOR ELECTRICE**

**Principiul inducției
electromagnetice**

**Principiul reluctanței variabile
(principiul anizotropiei de
forma)**

Principiul histerezisului



PRINCIPIUL INDUCȚIEI ELECTROMAGNETICE

FARADAY

$$e = k \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

LENZ

$$k = -1 \quad e = - \frac{d\varphi}{dt}$$

Forma globala (integrală)

$$e = \frac{d\varphi_{S_\Gamma}}{dt} = - \int_{S_\Gamma} \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \cdot \partial \bar{A} + \oint_{\Gamma} (\bar{v} \times \bar{B}) d\bar{r} = e_t + e_d$$

Forma locala (diferențială)

$$\text{rot } \bar{E} = - \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} - \text{rot } (\bar{B} \times \bar{v})$$



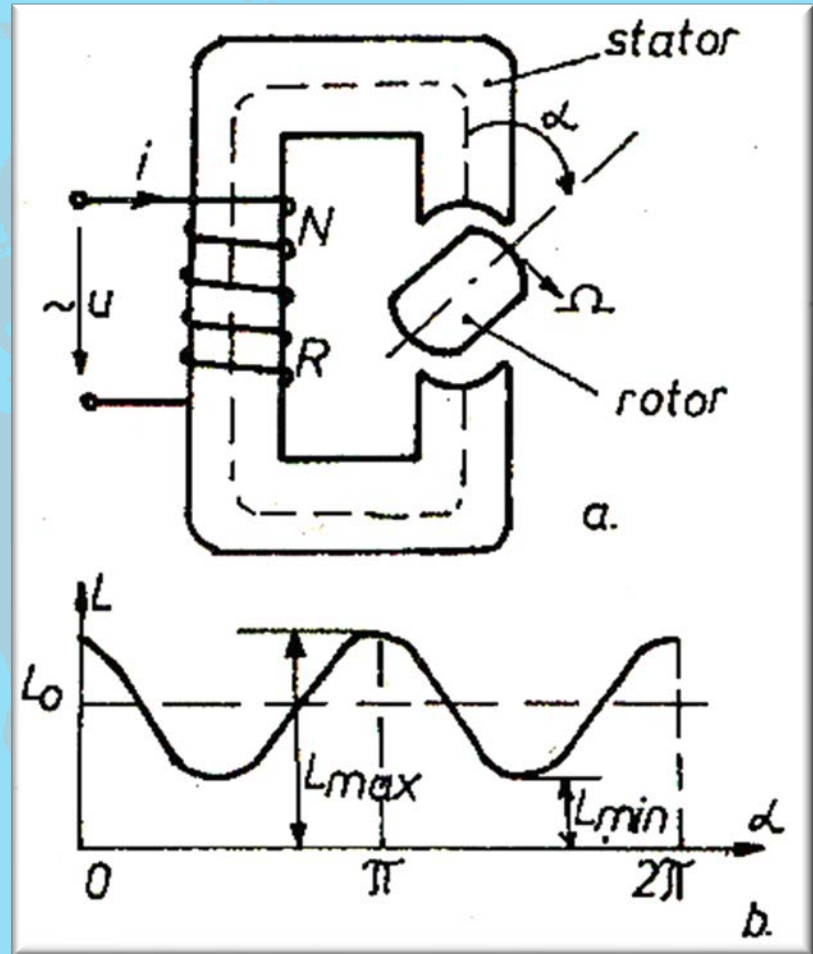
Tensiunea indusă într-un circuit este egală cu viteza de variație a fluxului prin acel circuit.

PRINCIPIUL RELUCTANȚEI VARIABILE (principiul anizotropiei de formă)

$$L = L_0(1 + m \cos 2\alpha)$$

$$m = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}$$

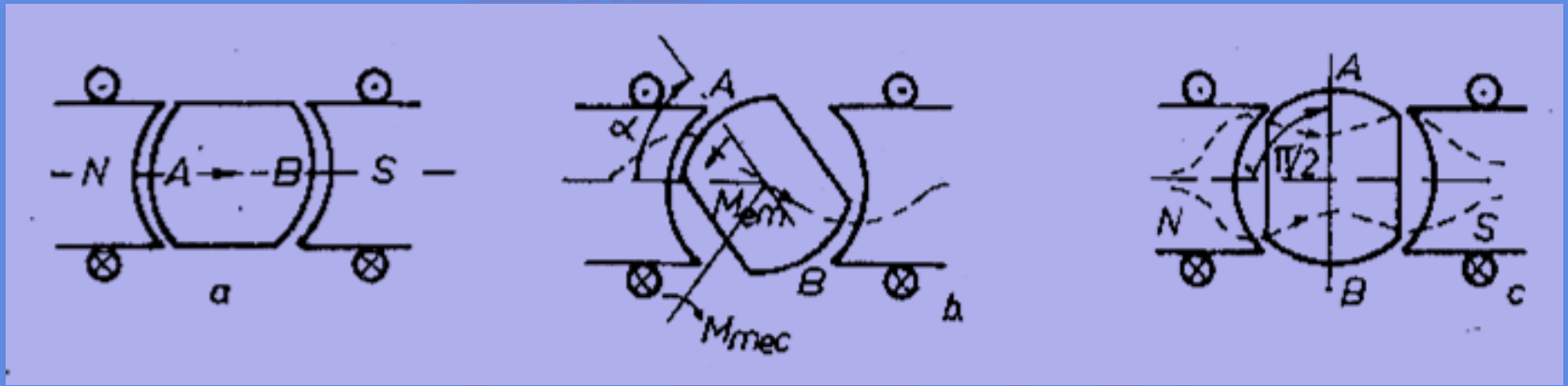
$$L_0 = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2}$$



Structura anizotropă a rotorului (două axe de simetrie) determină, în timpul rotirii, modificarea inductanței înfășurării statorice.



PRINCIPIUL RELUCTANȚEI VARIABILE (principiul anizotropiei de formă)



Rotorul, în structură anizotropă (două axe de simetrie diferite), va tinde să ocupe poziția de reluctanță minimă a sistemului (adică poziția în care liniile de câmp se închid “cel mai ușor” prin structura sistemului).

PRINCIPIUL RELUCTANȚEI VARIABILE (principiul anizotropiei de formă)

Energia câmpului magnetic creat de înfășurarea statorică este:

$$W_m = \frac{1}{2} Li^2$$

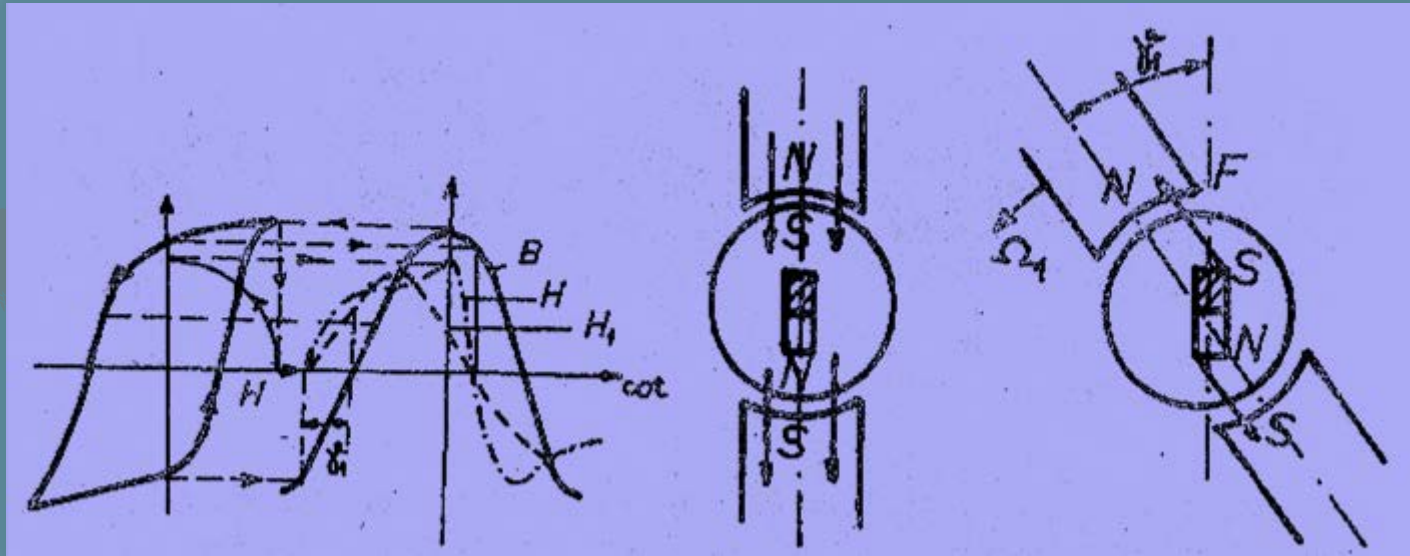
iar cuplul electromagnetic dezvoltat este:

$$M_e = \frac{dW_m}{d\alpha}$$

adică:

$$M_e = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\alpha} = -m \cdot L_0 \cdot i^2 \cdot \sin 2\alpha = -M_{e \max} \cdot \sin 2\alpha$$

PRINCIPIUL HISTEREZISULUI



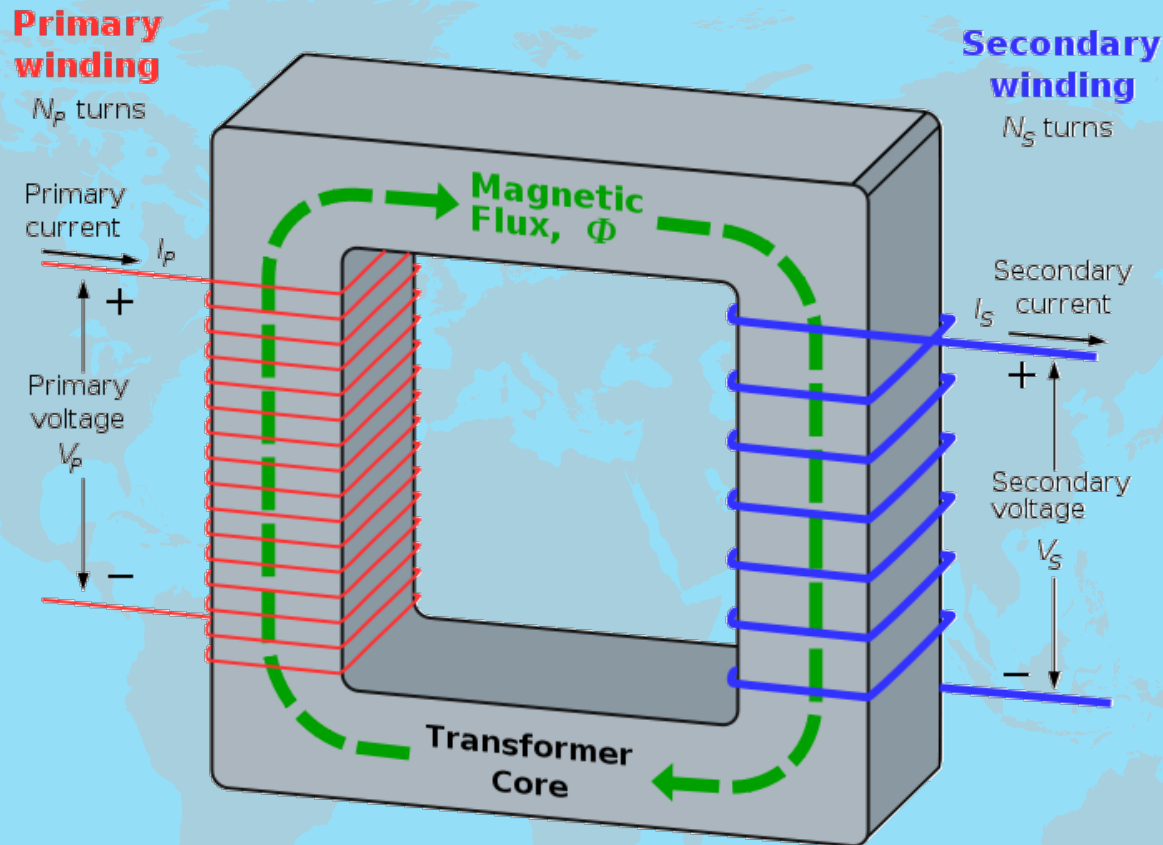
Trebuie să existe o diferență cât mai accentuată între ciclul de histerezis al materialului feromagnetic rotoric și cel al materialului feromagnetic statoric. Atunci când materialul rotorului are ciclu de histerezis lat, apare o întârziere în magnetizarea rotorului, ceea ce duce la apariția unui defazaj între axele câmpurilor celor două componente (stator și rotor).



Expresia cuplului electromagnetic dezvoltat este (B_S -inducția câmpului în stator, θ_r -solenajia echivalenta în rotor, δ_1 -unghiul de întârziere magnetică) :

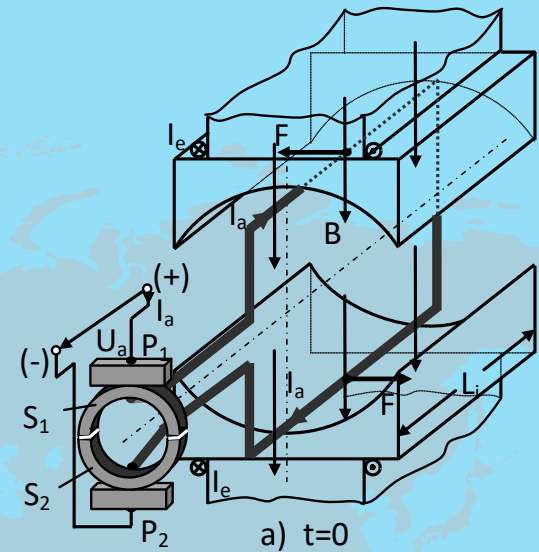
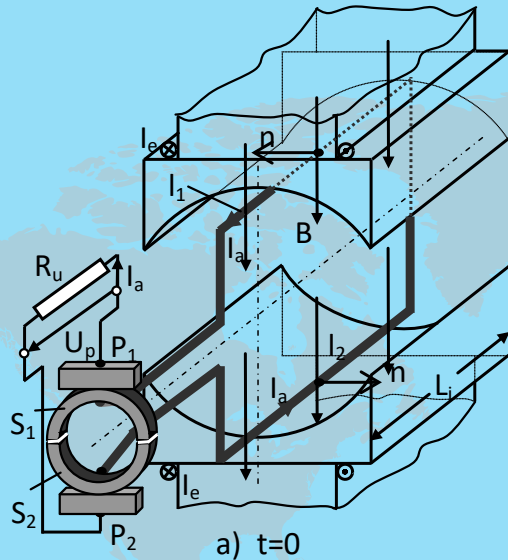
$$M_e = k_H \cdot B_S \cdot \theta_r \cdot \sin \delta_1$$

Transformatorul electric



Prin alimentarea înfășurării primare de la o sursă de tensiune alternativă ia naștere un câmp magnetic variabil în miezul magnetic al transformatorului. Conform legii inducției electromagnetice, se induce o tensiune în înfășurarea secundară care se regăsește la borne.

Mașina de c.c.



Prin alimentarea înfășurării de excitație apare un câmp magnetic fix în spațiu și constant în amplitudine. Rotirea înfășurării rotorice în acest câmp duce la apariția unei tensiuni induse alternative. Ea este redresată de sistemul colector-perii și se regăsește la bornele mașinii.

Se alimentează înfășurarea de excitație ce creează un câmp magnetic fix în spațiu și constant în amplitudine. Se alimentează înfășurarea rotorice ce determină existența unui curent prin spiarele acesteia. Interacțiunea dintre câmp și curent determină apariția unei forțe (Laplace) respectiv a unui cuplu ce determină rotirea rotorului.

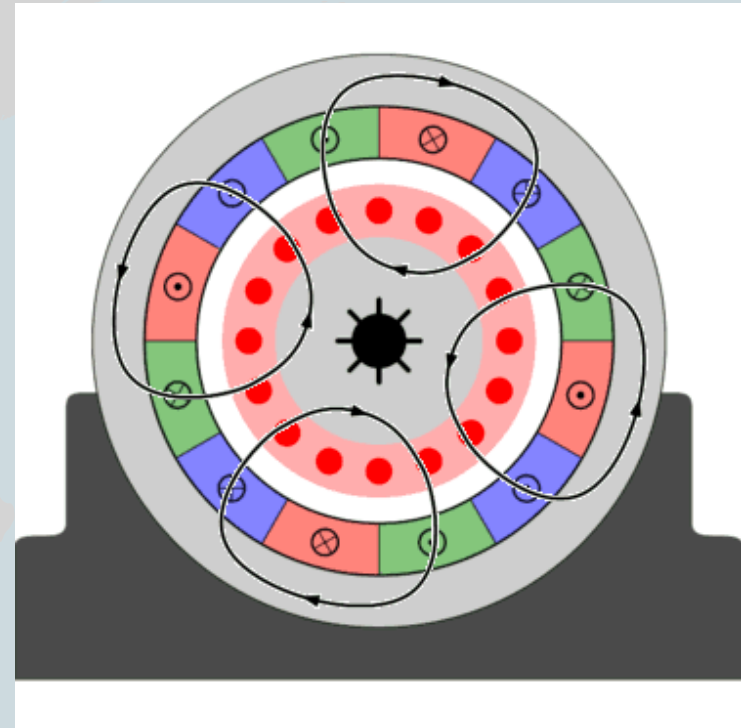


Generator



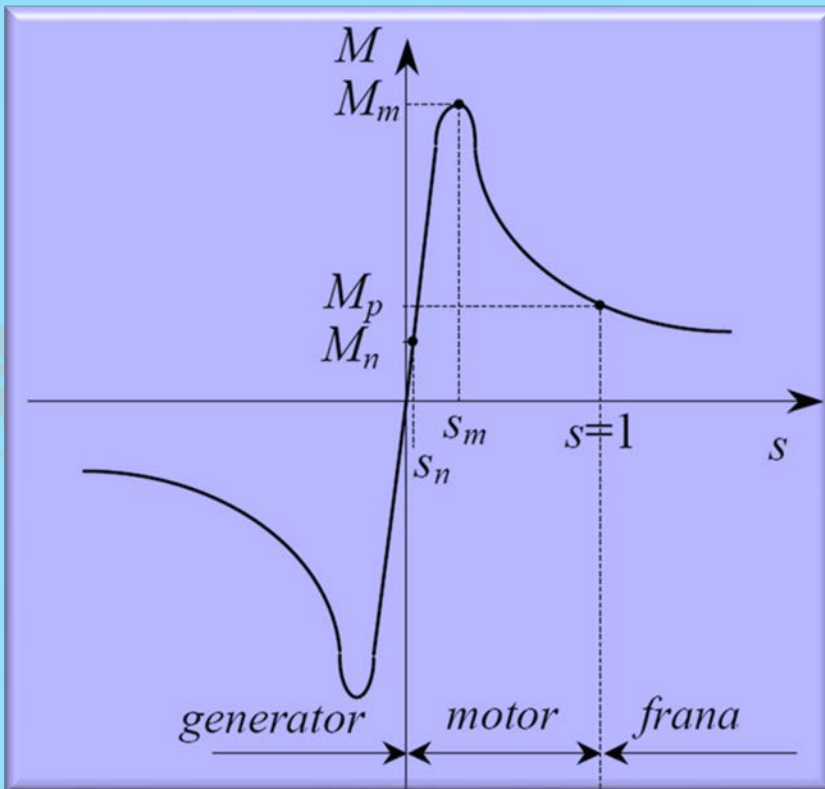
Motor

Mașina asincronă

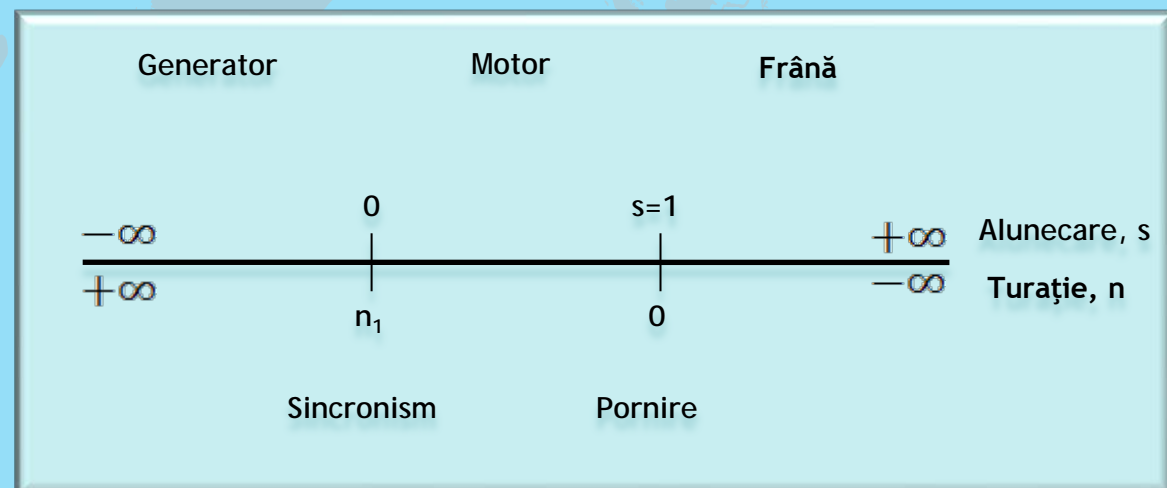


Prin alimentarea înfășurării polifazate statorice apare un câmp magnetic învârtitor. Conform legii inducției electromagnetice, acesta induce în înfășurarea rotorică o tensiune. Dacă înfășurarea este închisă, apare un sistem de curenți care, prin interacțiune cu câmpul magnetic inductor, determină apariția unei forțe respectiv unui cuplu care pune în mișcare de rotație rotorul.

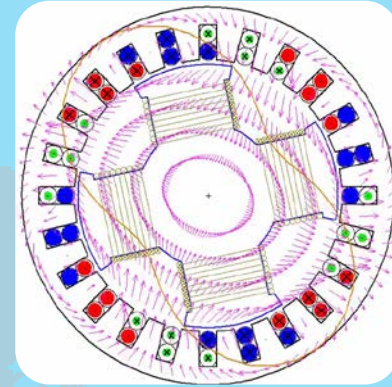
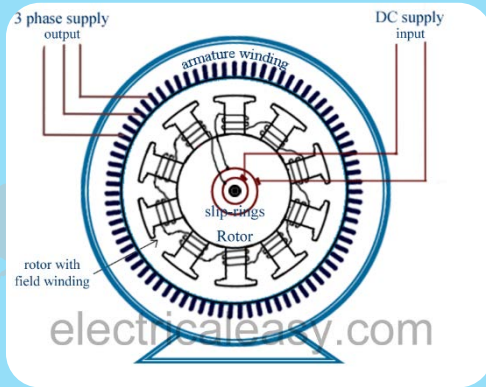
Regimuri de funcționare a mașinii asincrone



$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$



Mașina sincronă



Prin alimentarea înfășurării de excitație apare un câmp magnetic fix în spațiu și constant în amplitudine. Atunci când rotorul se rotește, câmpul inductor devine un câmp învârtitor care, conform legii inducției electromagnetice, induce în înfășurarea statorică o tensiune ce se regăsește la bornele mașinii.


Prin alimentarea înfășurării statorice de la o sursă de tensiune polifazăată apare un câmp magnetic învârtitor. Atunci când înfășurarea de excitație, rotorică, este alimentată iar rotorul se rotește cu turație de sincronism, câmpul inductor devine de asemenea un câmp învârtitor. Apare un cuplu de atracție mutuală între polii de nume contrari creați de cele două înfășurări ce determină funcționarea mașinii sincrone în regim de motor.



Generator



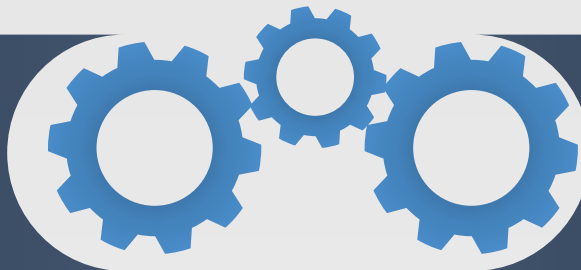
Motor

The background features a white surface with a large black gear on the left side. A horizontal band of orange and blue stripes runs across the middle. A grey rounded rectangle with a dashed white border is centered on the stripes, containing the title text.

Materiale utilizate in construcția mașinilor electrice

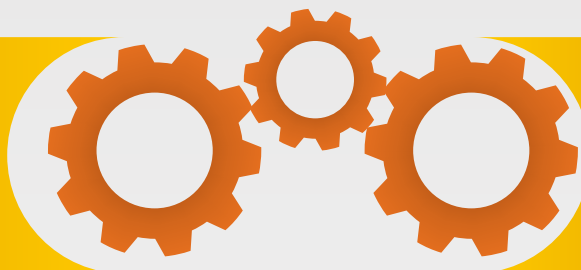
CUPRINS

Materiale feromagnetice



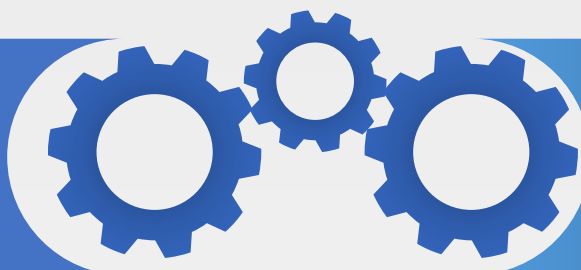
01

Materiale conductoare
si izolatoare



02

Magneți permanenți



03



**MATERIALE
FEROMAGNETICE**

CLASIFICARE

$$\overline{B} = \mu \cdot \overline{H}$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$


$$\mu_r < 1$$

DIAMAGNETIC

$$\mu_r > 1$$

PARAMAGNETIC

$$\mu_r \gg 1$$

FERROMAGNETIC

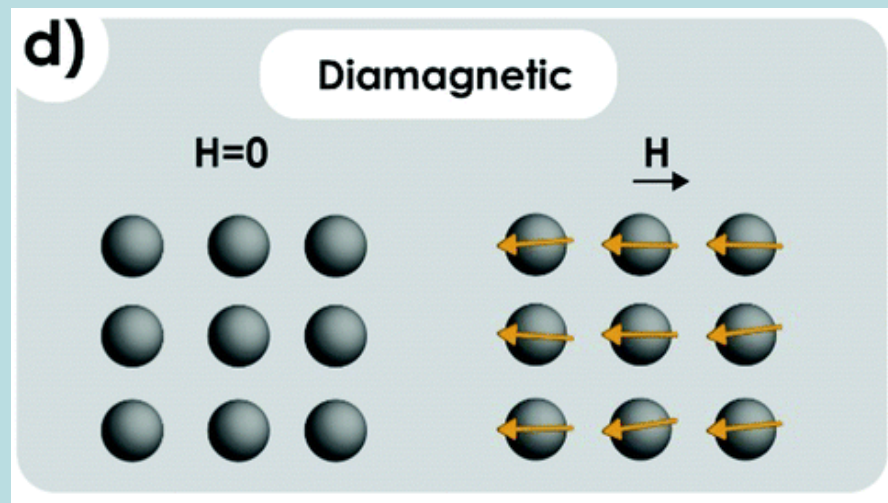
Diamagnetismul

Este proprietatea unui obiect, care se manifestă prin apariția unui câmp magnetic în opoziție cu un câmp magnetic aplicat din exterior. Mai exact, un câmp magnetic extern modifică viteza de rotație a electronilor în jurul nucleului atomic, astfel se schimbă momentul magnetic al dipolului magnetic într-o direcție opusă direcției câmpului magnetic exterior.

Materialele diamagnetice sunt materiale cu permeabilitate magnetică mai mică decât μ_0 (o permeabilitate relativă mai mică decât 1).

Întrucât susceptibilitatea magnetică este extrem de mică, diamagnetismul are o reacție aparentă foarte slabă, practic neobservabilă, ceea ce le face să pară nemagnetice.

Materialele diamagnetice : apa, lemn, cei mai mulți compuși organici ca petrolul și unele materiale plastice și metale precum mercur, cupru, aur, bismut.



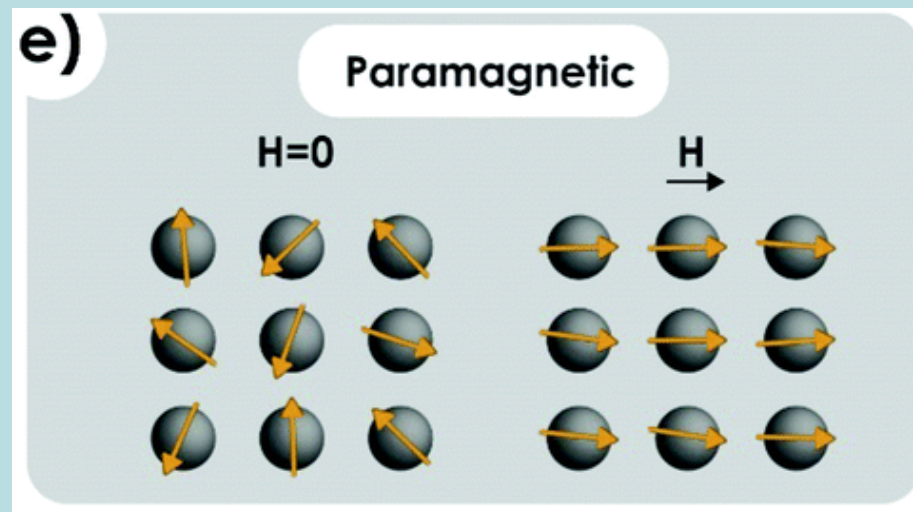
Paramagnetismul

Este o formă de magnetism în care anumite materiale sunt slab atrase de câmpuri magnetice exterioare.

Permeabilitatea relativă a materialelor paramagnetice este ușor mai mare ca 1, (susceptibilitatea magnetică este mică dar pozitivă). Reacția magnetică este totuși slabă și punerea ei în evidență necesită instrumente fine de măsură.

Materiale paramagnetice: aluminiu, oxigen, titaniu, oxid de fier (FeO).

Când câmpul magnetic exterior dispare, materialele paramagnetice își pierd complet magnetizarea.



Feromagnetismul

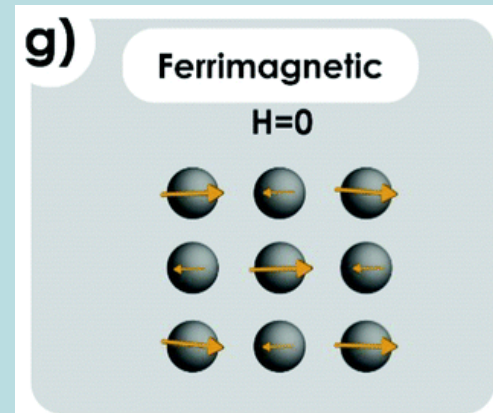
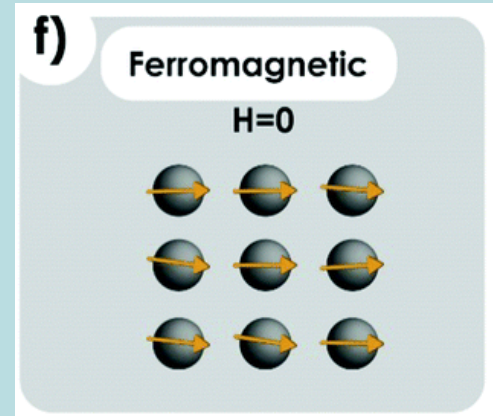
Feromagnetismul este proprietatea unor materiale de a forma câmpuri magnetice puternice în prezența unui câmp magnetic exterior.

Permeabilitatea relativă a materialelor feromagnetice este mult mai mare ca 1. Reacția magnetică se manifestă prin forțe puternice de atracție sau respingere.

Materiale feromagnetice: fier, nichel, cobalt și aliajele lor.

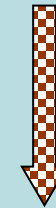
Când câmpul magnetic exterior dispăre, materialele feromagnetice păstrează un magnetism ușor numit magnetism remanent.

Materialele **ferimagnetice**, în comparație cu cele feromagnetice, au populații de atomi cu momente magnetice în opoziție, ceea ce face ca magnetizarea totală a materialului să fie mai slabă. Magnetita (un material natural) respectiv feritele sunt materiale ferimagnetice.



MATERIALE FEROMAGNETICE

Si 1-4%

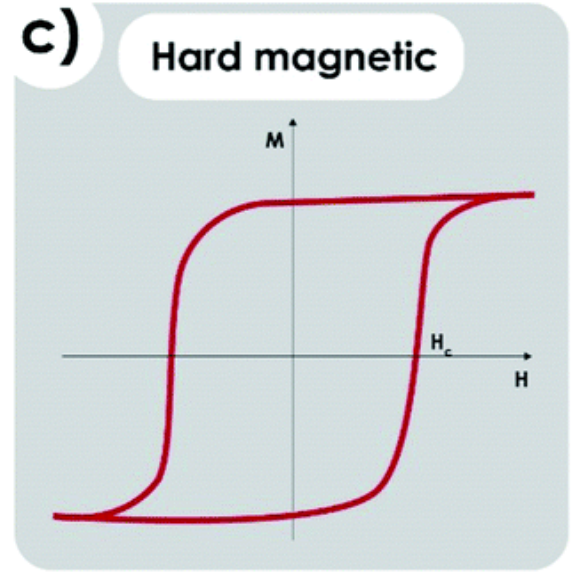
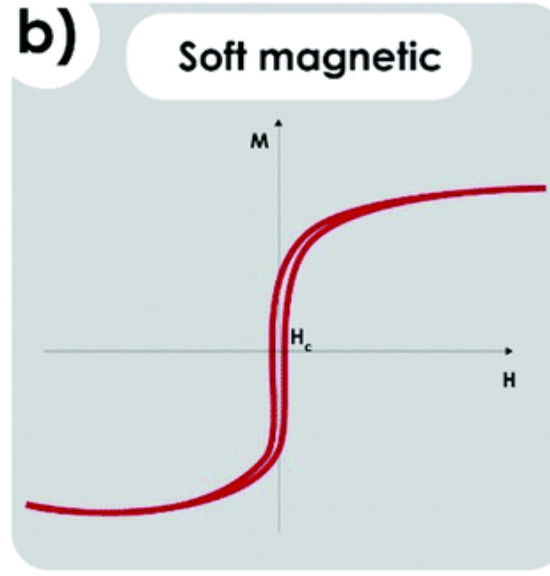
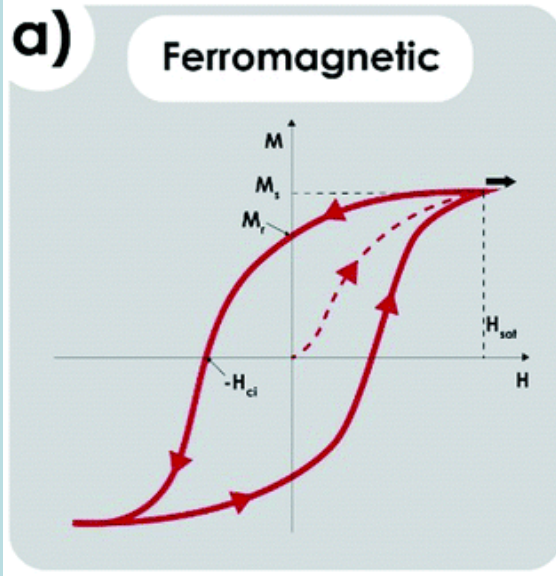


MOI

(CICLU DE HISTEREZIS INGUST)

TARI

(CICLU DE HISTEREZIS LAT)



Materiale magnetice moi



1

Ciclu de histerezis
îngust.

Pierderi in fier mai
mici.



2

Câmp coercitiv mai
mic.

Își pierde rapid
starea de
magnetizare.

Materiale magnetice dure



1

Ciclu de histerezis
lat.

Pierderi in fier mai
mari.



2

Câmp coercitiv mai
mare.

Își păstrează
starea de
magnetizare.

Tabla silicioasa

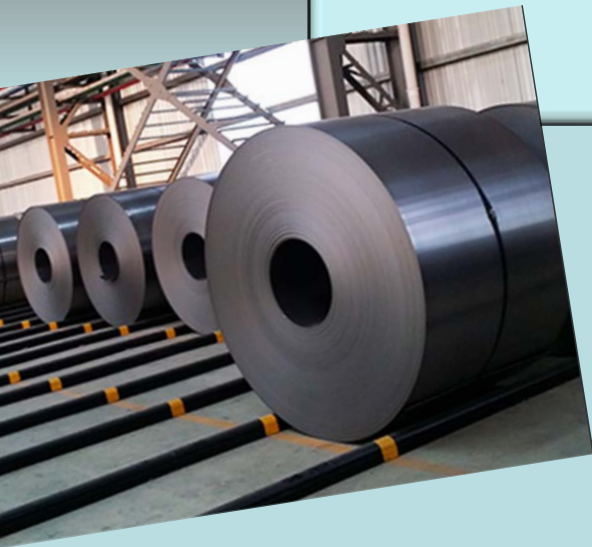


Tabla laminata la rece cu cristale orientate



Tabla laminata la rece cu cristale neorientate

Applications		Types	Grain-Oriented		Non-Oriented				
			JG	JGH, JGS, JGSD, JGSE	JN 210~400	JN 440~700	JN 800~1600	JNE 230~470	JNEH 1200~1500
Rotating Machines	Large Rotating Machines								
	Medium Rotating Machines								
	Hermetical Motors								
	General use A.C. Motors								
	Small Motors and Intermittent Service A.C. Motors								
	Electrical Vehicle Driving Motors								
Static Machines	Power Transformers								
	Distribution Transformers								
	Audio Transformers								
	Current and Potential Transformers								
	Reactors and Magnetic Amplifiers								
	Magnetic Switches								
	Welding Transformers								
	Ballast								

Note : JGH, JGS, JGSD, JGSE, JNE, JNEH and JNA are registered trademarks of JFE Steel Corporation in Japan.

Tabla silicioasa

Pierderi specifice	Coeficient de umplere	Cristale neorientate	Cristale orientate
P_{10/50}	0,95-izolata 0,96-neizolata	2,3 W/kg	0,4÷1 W/kg
P_{15/50}			

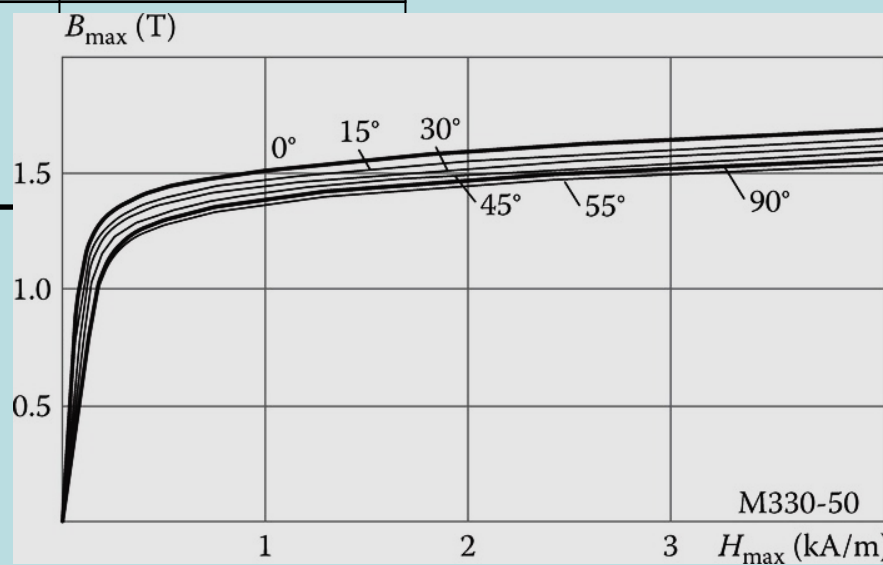


Tabla silicioasa cu cristale orientate

JGS™ CORE

Thickness mm (in.)	Grade	Assumed Density kg/dm ³	Max. Core Loss at 1.7T			
			Watts per kilogram		Watts per pound	
			50Hz	60Hz	50Hz	60Hz
0.23 (0.0090)	23JGS085	7.65	0.85	1.12	0.39	0.51
	23JGS090		0.90	1.19	0.41	0.54
	23JGS095		0.95	1.25	0.43	0.57
0.27 (0.0106)	27JGS090		0.90	1.19	0.41	0.54
	27JGS095		0.95	1.25	0.43	0.57
	27JGS100		1.00	1.32	0.45	0.60
0.30 (0.0118)	30JGS095		0.95	1.27	0.43	0.58
	30JGS100		1.00	1.32	0.45	0.60
	30JGS105		1.05	1.39	0.48	0.63
0.35 (0.0138)	35JGS115		1.15	1.52	0.52	0.69
	35JGS125		1.25	1.65	0.57	0.75

JGSD™ CORE

Thickness mm (in.)	Grade	Assumed Density kg/dm ³	Max. Core Loss at 1.7T			
			Watts per kilogram		Watts per pound	
			50Hz	60Hz	50Hz	60Hz
0.23 (0.0090)	23JGSD075	7.65	0.75	0.99	0.34	0.45
	23JGSD080		0.80	1.04	0.37	0.48
	23JGSD085		0.85	1.12	0.39	0.51
0.27 (0.0106)	27JGSD090		0.90	1.18	0.41	0.54
	27JGSD095		0.95	1.25	0.43	0.57

Tabla silicioasa cu cristale neorientate

JNE™ CORE

Grade	Thickness mm (in.)	Assumed Density kg/dm ³	Max. Core Loss			
			Watts per kilogram		Watts per pound	
			50Hz	60Hz	50Hz	60Hz
			1.5T	1.5T	1.5T	1.5T
35JNE230	0.35 (0.0138)	7.65	2.30	2.90	1.04	1.32
35JNE250		7.65	2.50	3.20	1.13	1.45
35JNE300		7.70	3.00	3.80	1.36	1.72
35JNE440		7.75	4.40	5.60	2.00	2.52
50JNE300	0.50 (0.0197)	7.65	3.00	3.80	1.36	1.72
50JNE350		7.70	3.50	4.45	1.59	2.02
50JNE470		7.75	4.70	5.95	2.13	2.70

Note : The values are to be measured to the method JIS C 2550 (2000) on the specimens consisted of half the strip sheared parallel and half sheared transverse to the rolling direction. The specimens are to be tested as sheared.

JNEH™ CORE

Grade	Thickness mm (in.)	Assumed Density kg/dm ³	Max. Core Loss	
			Watts per kilogram	Watts per pound
			400Hz	400Hz
			1.0T	1.0T
20JNEH1200	0.20	7.65	12.00	5.44
20JNEH1500	(0.0080)	7.65	15.00	6.80

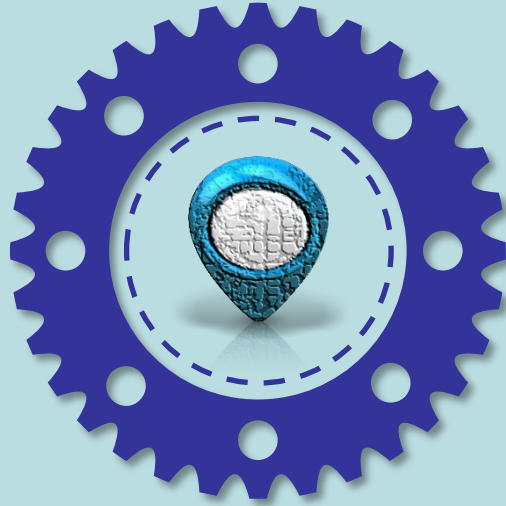
Note : The values are to be measured to the method JIS C 2550 (2000) on the specimens consisted of half the strip sheared parallel and half sheared transverse to the rolling direction. The specimens are to be tested as sheared.

Aliaje feromagnetice cu saturație ridicată

High saturation ferromagnetic alloys



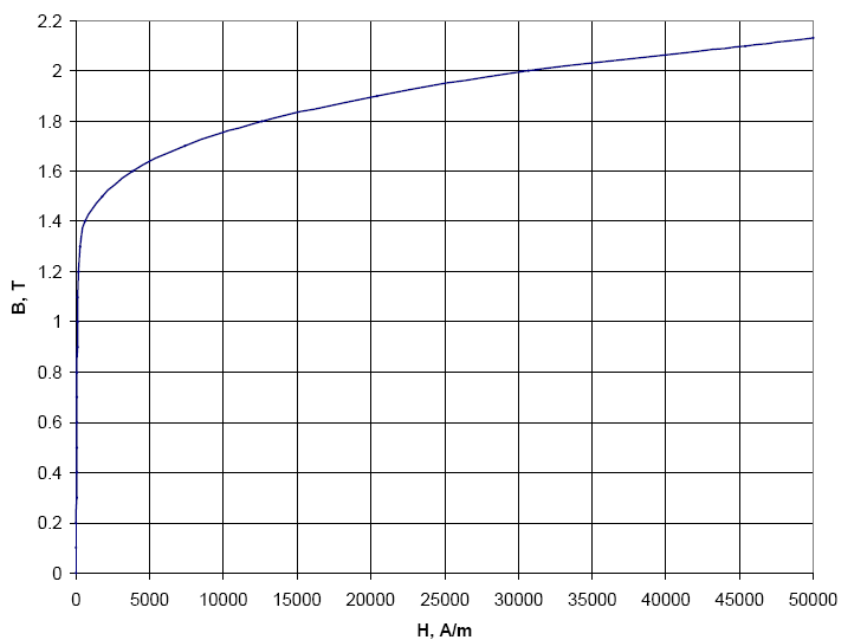
Sunt aliaje Fe-Co
cu 15-50%
conținut de Co



Saturație – 2.4T



Aplicații
aerospațiale:
motoare,
generatoare,
transformatoare,
lagăre magnetice



Curba de magnetizare a oțelului tip Armco, oțel obișnuit cu cristale neorientate tip M19.

Fig. 2.1. Magnetization curve of fully processed *Armco* DI-MAX nonoriented electrical steel M-19.

Curba de magnetizare a oțelului tip Hiperco, oțel cu punct de saturație ridicat

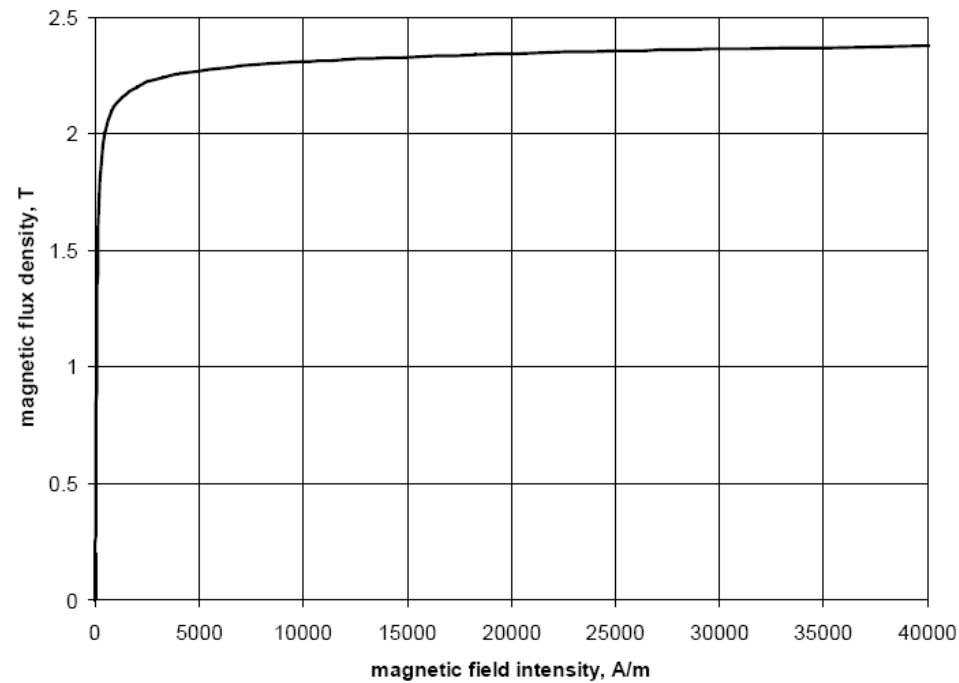


Fig. 2.5. Magnetization curve of Hiperco50.

Materiale feromagnetice amorfe

Amorphous ferromagnetic materials

- ✓ Aliaje Fe-Ni-Co
- ✓ Solidificare rapidă a metalului topit prin răcire cu viteza de 10^6 °C/s
- ✓ Structura asemănătoare sticlei (lichid înghețat necristalizat)
- ✓ Materialul este extrem de dur și necesită tehnologii speciale de tăiere și prelucrare (de ex. tăiere cu jet lichid, laserul sau tăierea electrică nu pot fi folosite)
- ✓ Pierderi specifice la 1T și 50 Hz: 0.125 – 0.28 W/kg
- ✓ Exemplificare: pentru un motor standard de 550W înlocuirea tolelor clasice cu material amorf duce la creșterea randamentului de la 74% la 84%.

Materialle magnetice compozite

Soft magnetic powder composites

- ✓ Compoziție: pudră de Fe + material dielectric (rășini epoxidice) + umplutură (sticlă sau fibre de carbon pentru creșterea durității);
- ✓ dielectromagnetice (pană la 2% dielectric); magnetodielectrice (peste 2% dielectric);
- ✓ Utilizate pentru realizarea de circuite magnetice complicate (mașini cu poli gheară sau mașini cu flux transversal).

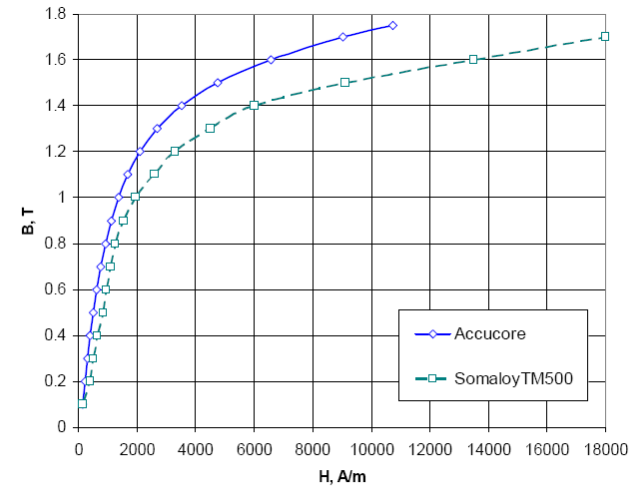


Fig. 2.8. Comparison of magnetization curves of *Accucore* and *SomaloyTM 500*.

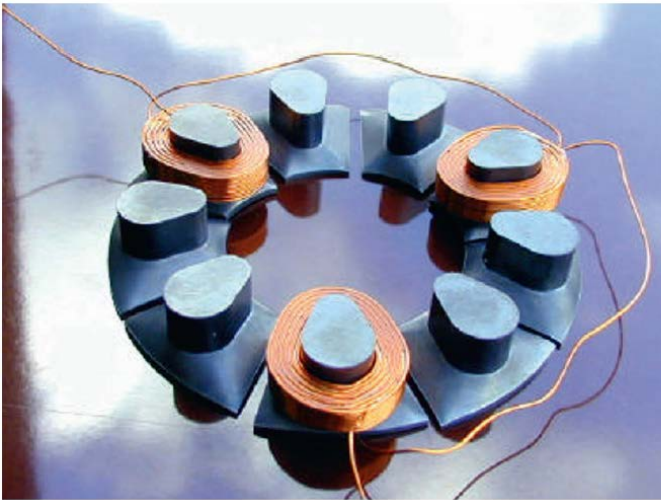


Fig. 2.11. SMC powder salient pole stator for disc type (axial flux) PM motors. Courtesy of *Höganäs*, Höganäs, Sweden.

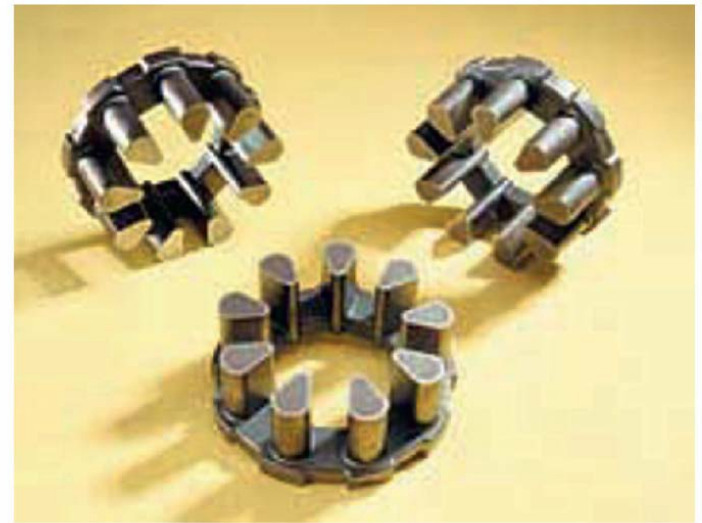


Fig. 2.12. Powder salient pole stators for small single-sided disc type axial flux PM motors. Courtesy of *Mii Technologies, LLC*, Lebanon, NH, U.S.A.

Miezuri de C.C.



Oțel carbon sub
formă de foi
(grosime de 10-
50 mm)

Oțel turnat

Fontă turnată

Oțel forjat



MATERIALE
CONDUCTOARE
ȘI IZOLATOARE

Materiale conductoare (proprietăți)



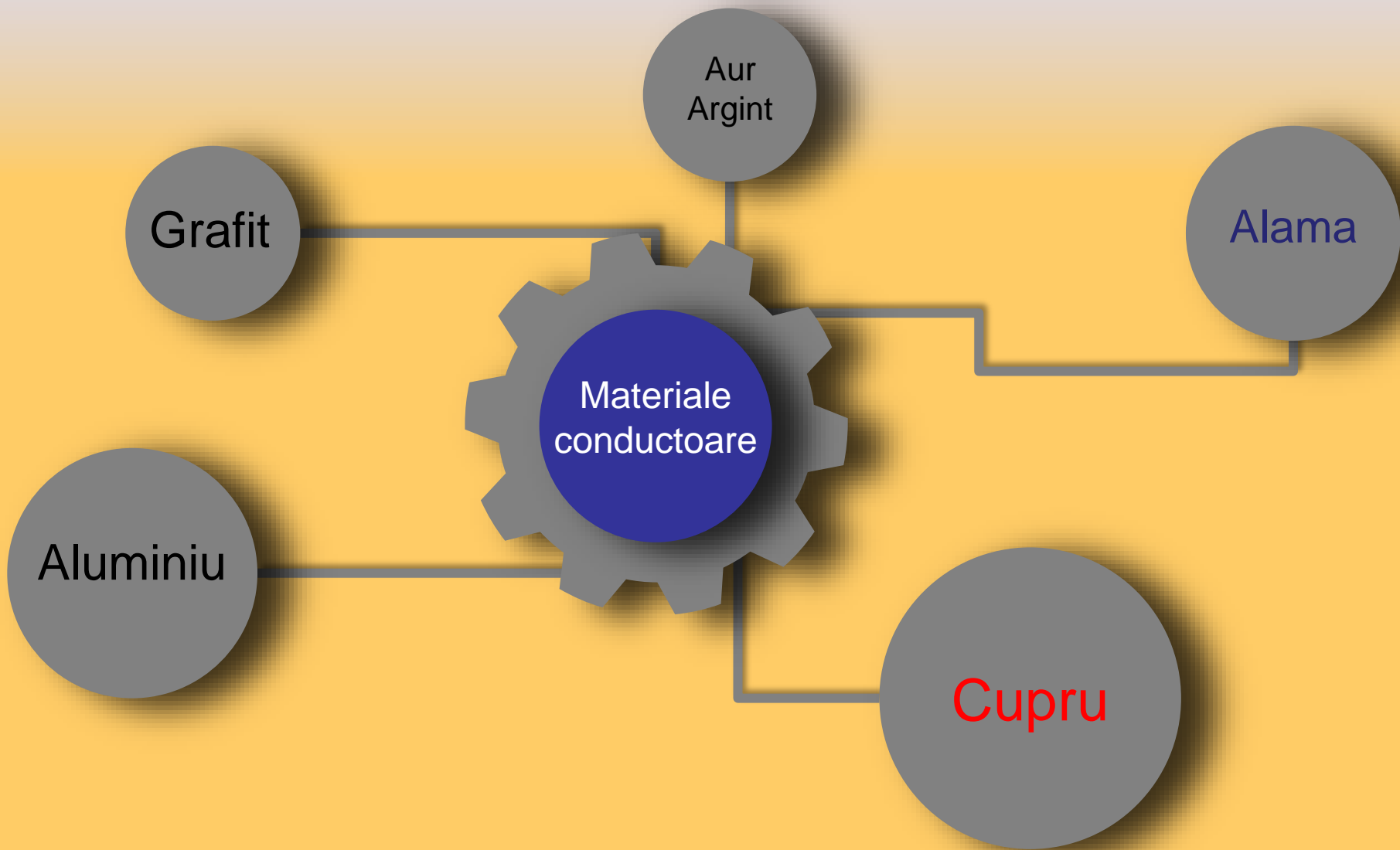
Rezistivitate
electrică cât
mai redusă



Proprietăți
mecanice
bune



Conductivitate
termică cât
mai bună



Proprietăți electrice

	Rezistivitate la 20° C (ρ_{20}) [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$]	Coeficientul de temperatura (α) [° C ⁻¹]	Rezistivitate la 75° C (ρ_{75}) [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$]	Densitatea (γ) [kg/dm ³]
Cupru electrolitic	0,01784	$3,83 \cdot 10^{-3}$	0,0215	8,89
Aluminiu	0,031	$3,7 \cdot 10^{-3}$	0,0365	2,7

$$\rho_{\theta} = \rho_{20} [1 + \alpha(\theta - 20)]$$

Materiale electroizolante (proprietăți)



Rigiditate
dielectrica
mare



Conductivitate
termica
ridicata

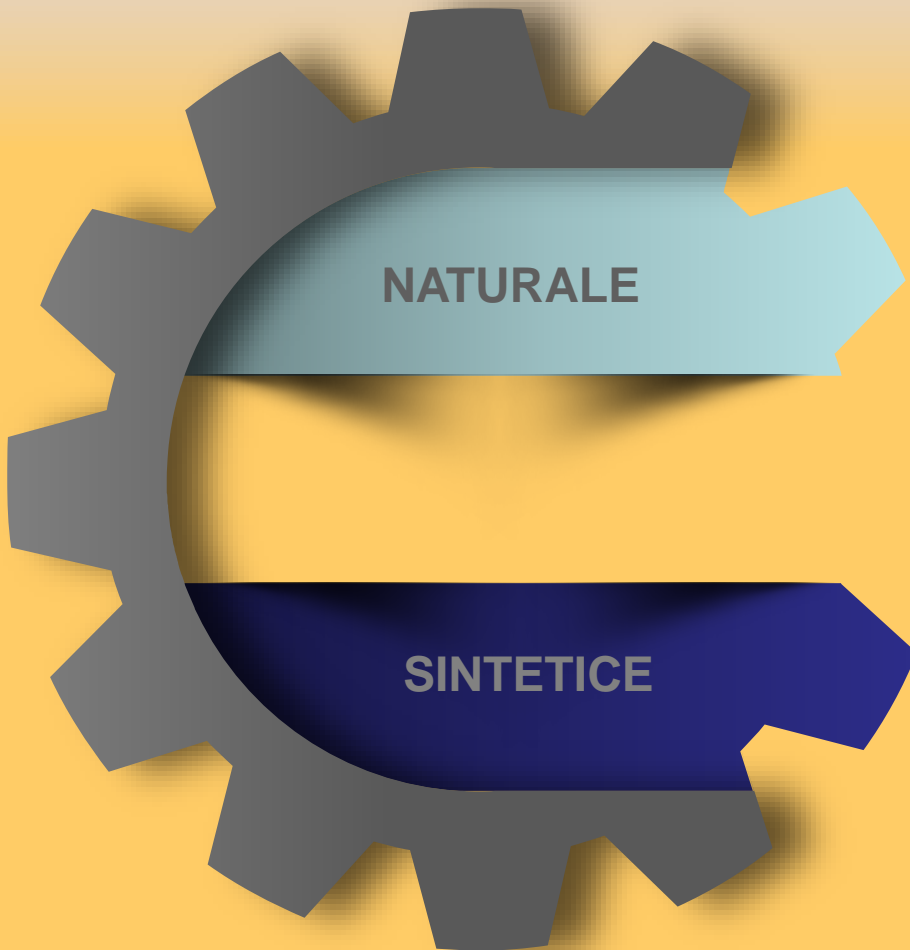


Proprietăți
mecanice si
de prelucrare
bune



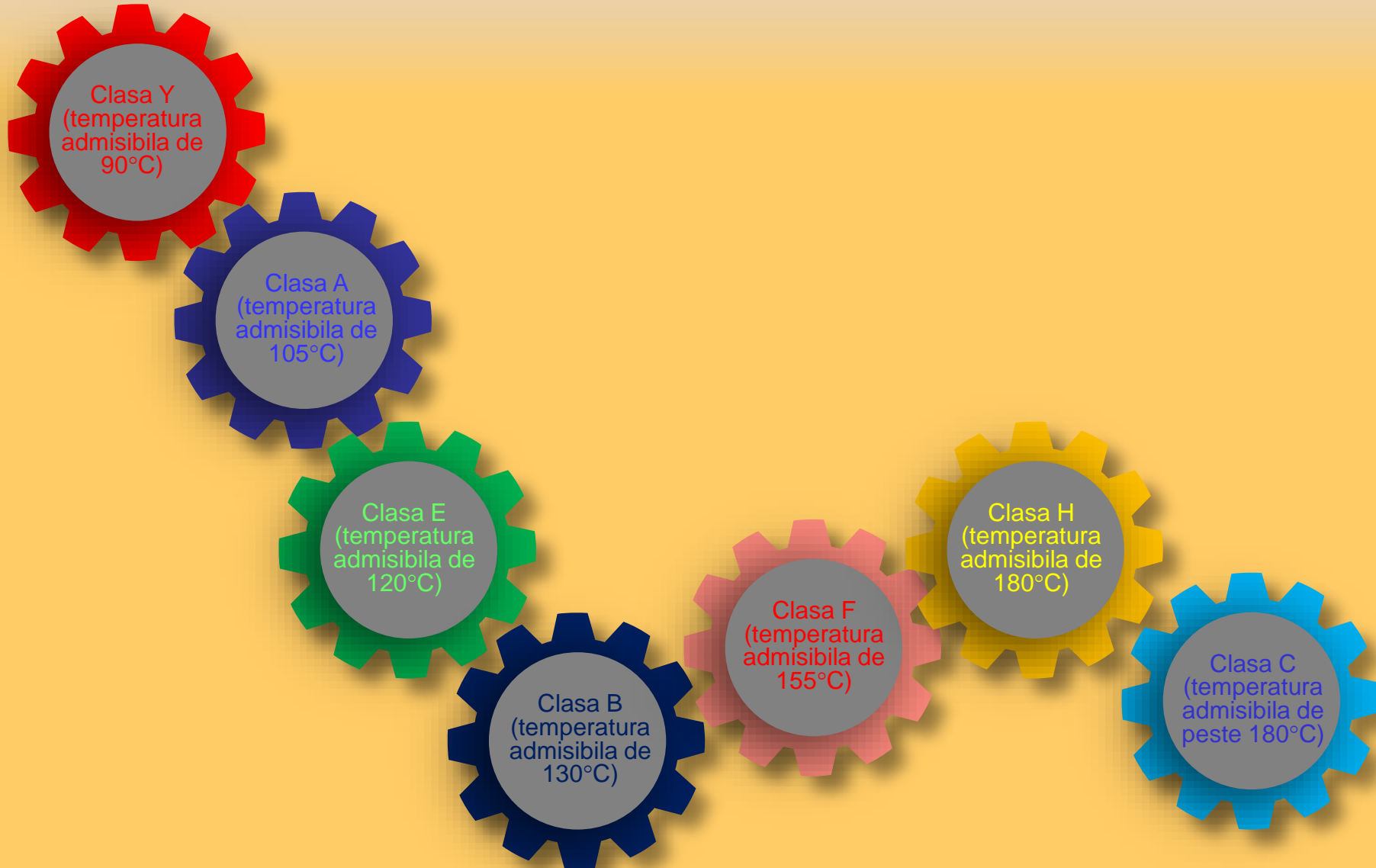
Stabilitate
chimica

CLASIFICARE

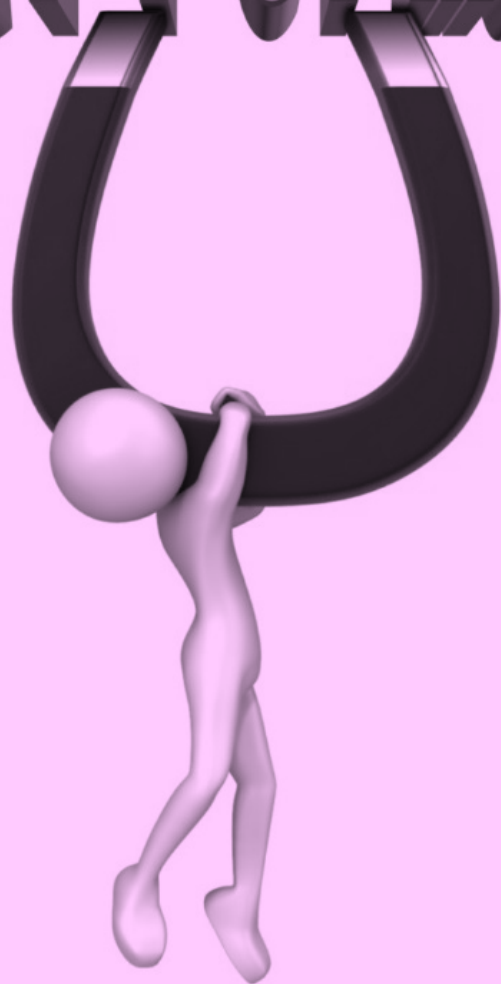


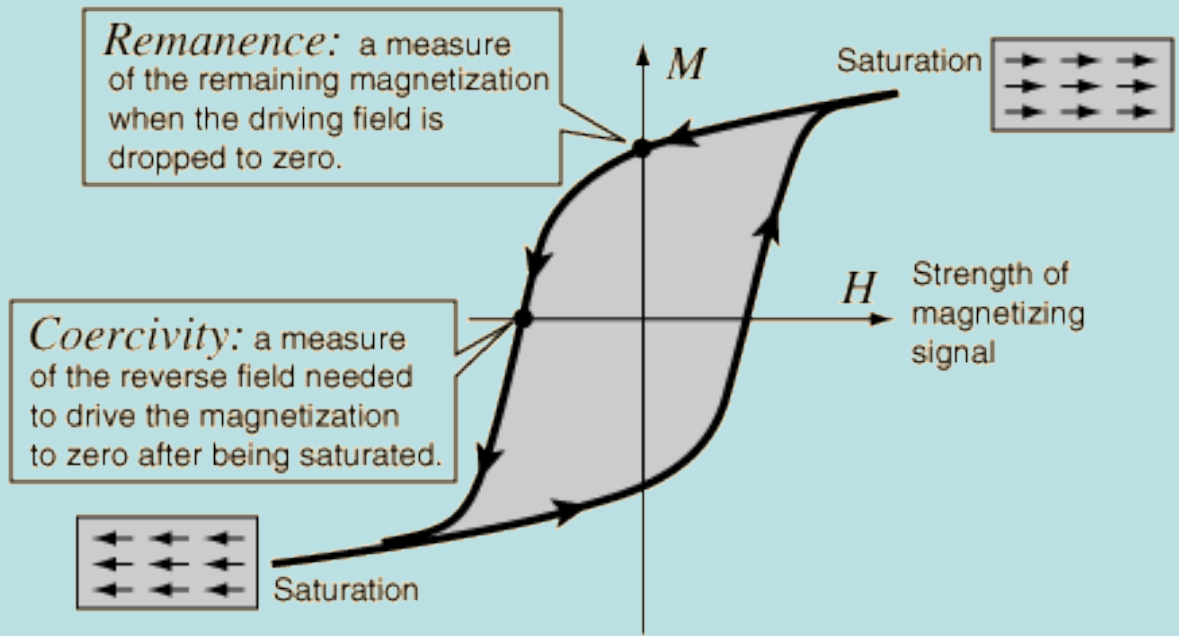
- Șelac; lemn; mica; asbest; cauciuc.
- Bumbac; fibre poliesterice; hârtie; prespan; textolit; sticlotoxolit; pertinax; fire de sticlă; email; lacuri; ulei de transformator; ceramică; porțelan.

CLASE DE IZOLAȚIE - conform criteriului termic -

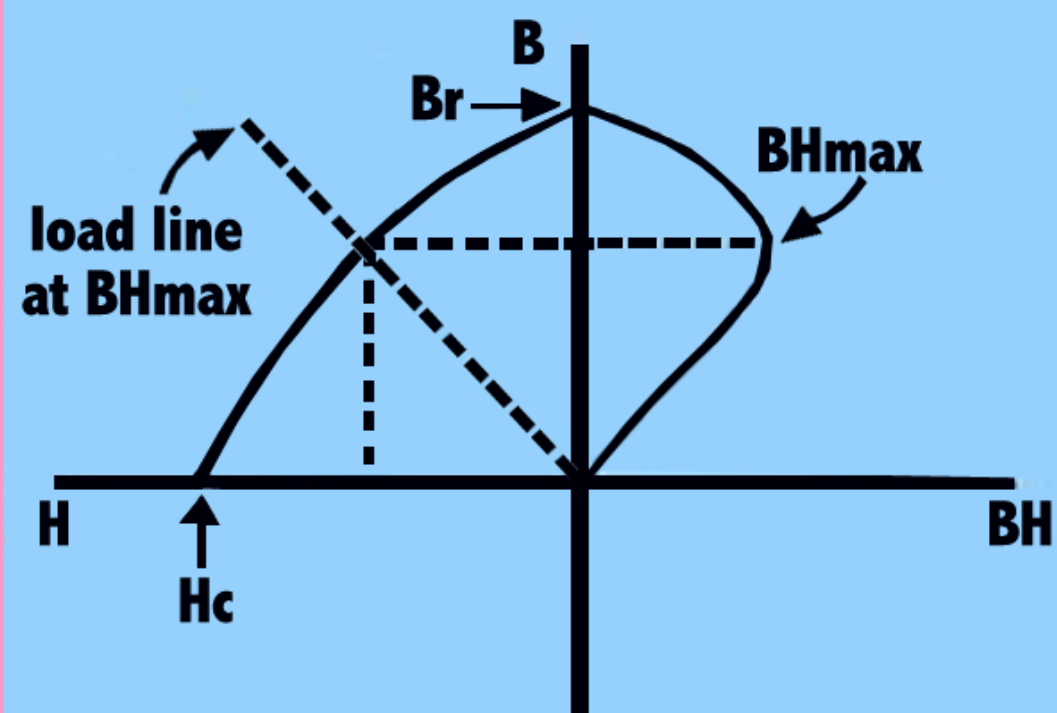


Magneti Permanenti





Caracteristica de magnetizare

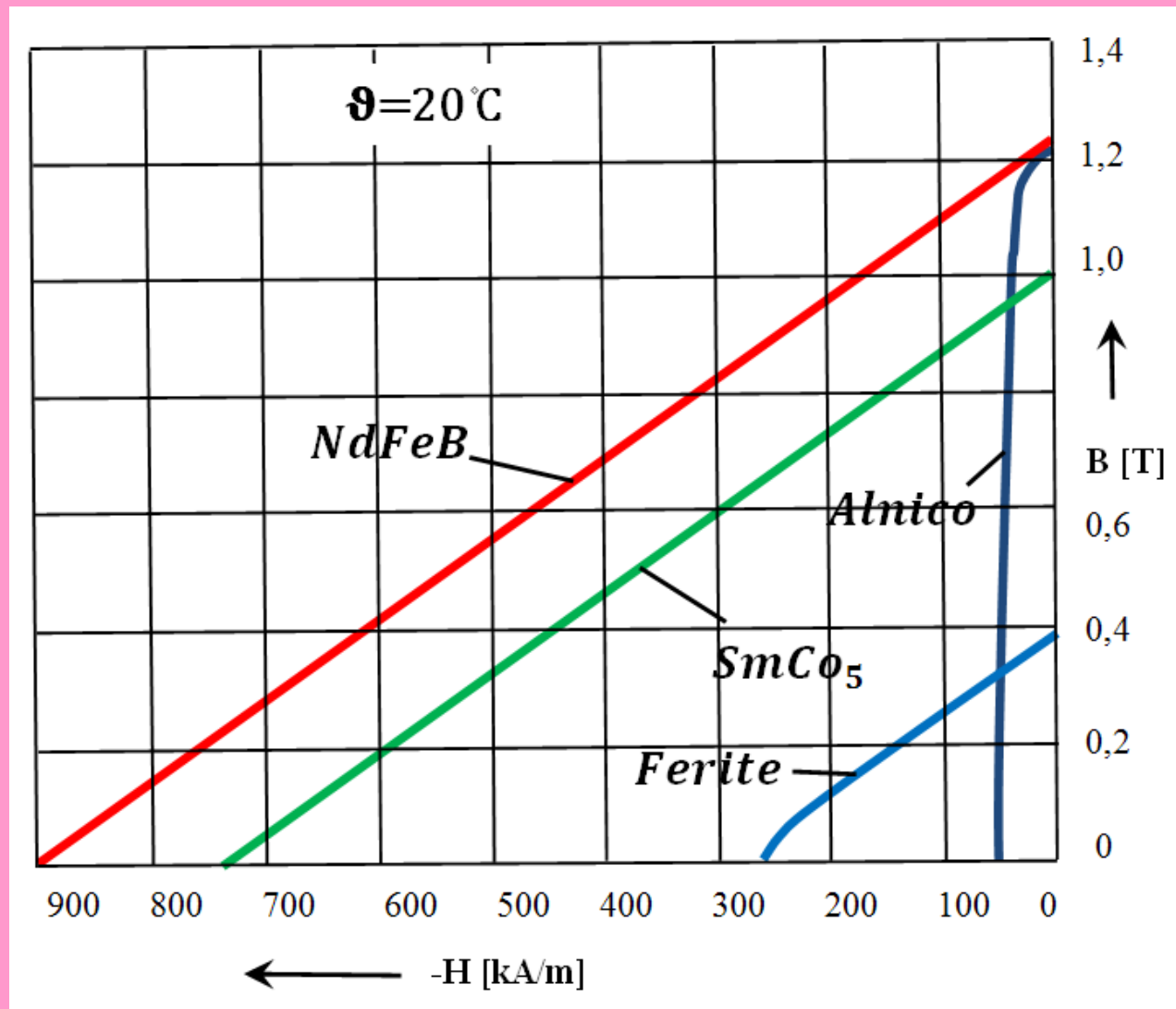


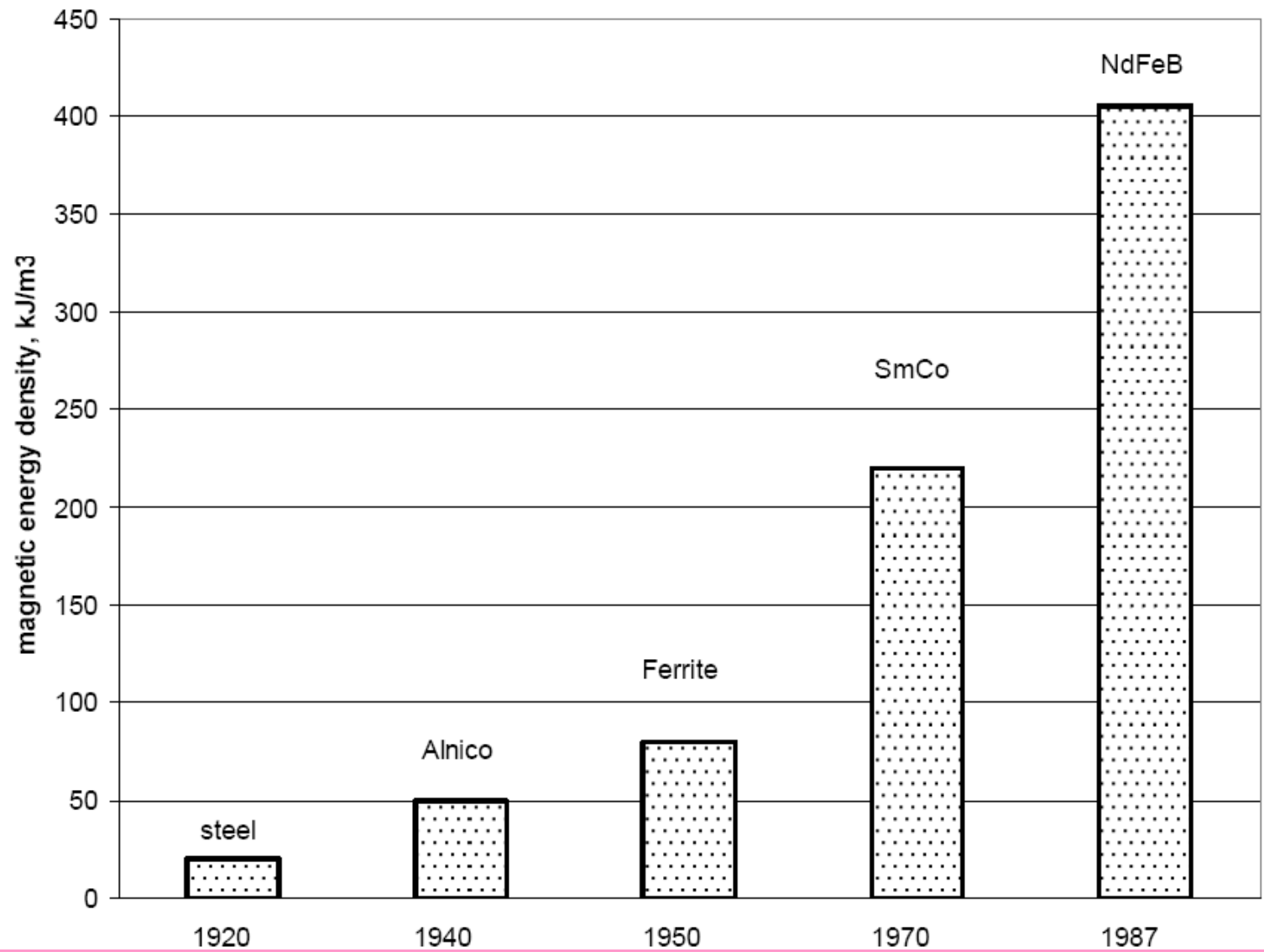
Zona de funcționare și caracteristica energiei magnetice la magneți permanenți

1. Ferite

2. Magneți metalici (Alnico)

3. Magneți pe baza de pământuri rare





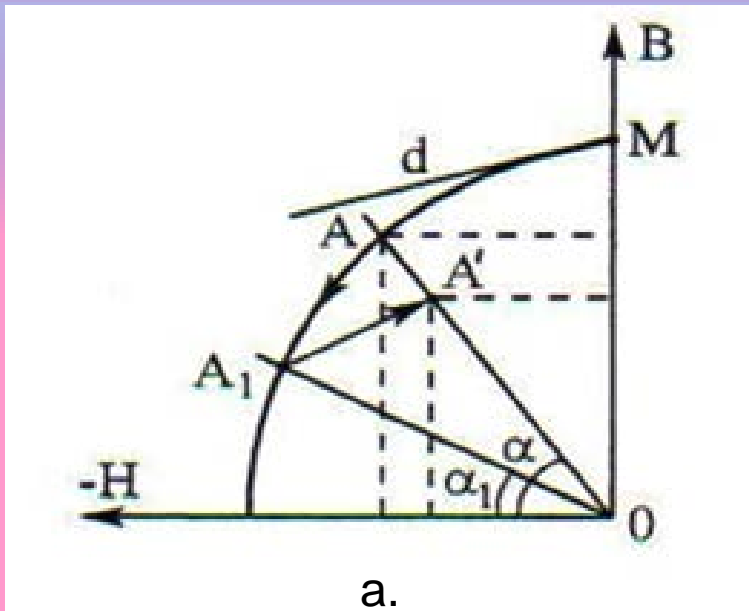
Clasa magnetului	Proprietăți magnetice			
	Energie maximă produsă (BH) _{max} (kJ/ m ³)	Inducție remanentă maximă B _{rmax} (T)	Câmp coercitiv maxim H _{cmax} (kA/m)	Temperatura Curie T _c (° C)
Nd ₂ Fe ₁₄ B (sinterizat)	200-440	1-1,4	750-2000	310-400
Nd ₂ Fe ₁₄ B (compozit)	60-100	0,6-0,7	600-1200	310-400
SmCo ₅	120-200	0,8-1,1	600-2000	720
Sm(Co,Fe,Cu,Zr) ₇	150-240	0,9-1,15	450-1300	800
AlNiCo	10-88	0,6-1,4	275	700-860
Ferite	10-40	0,2-0,4	100-300	450

Determinarea dimensiunilor magneților permanenți:

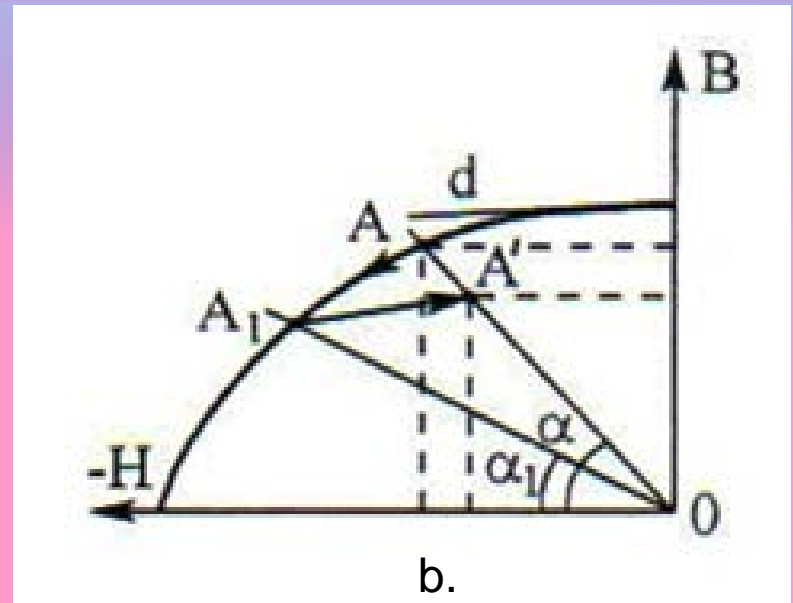
$$l_m = -\frac{k_s \cdot l_0 \cdot B_0}{\mu_0 \cdot H_m}, \quad A_m = \frac{k_\sigma \cdot A_0 \cdot B_0}{B_m}$$

unde: l_m și A_m sunt lungimea și secțiunea magnetului permanent; l_0 și A_0 sunt lungimea și secțiunea întrefierului; B_m și H_m sunt valorile de inducție și intensitate a câmpului ce caracterizează punctul de funcționare (de pe caracteristica de demagnetizare); k_σ -coeficient de dispersii al magnetului; $k_s=1,1 \div 1,4$

- a. Pentru magneții cu B_r și H_c mari (adică B_m și H_m mari – cazul magneților cu Nd sau Sm) atât lungimea l_m cât și secțiunea A_m ale magnetului sunt mici;
- b. Pentru magneți cu B_r mare și H_c mic (cazul magneților metalici tip AlNiCo) rezultă secțiuni mici dar lungimi mari;
- c. Pentru magneți cu B_r și H_c mici (cazul feritelor) atât lungimea l_m cât și secțiunea A_m ale magnetului sunt mari (deci volumul de magnet permanent este mare).



a.



b.

Punctul de funcționare al unui magnet permanent introdus într-o structura feromagnetică (de ex. mașină electrică) se află pe curba de demagnetizare și este notat cu A.

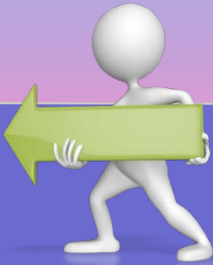
Ori de câte ori structura circuitului magnetic se modifică (de ex. desfacerea mașinii și scoaterea rotorului pentru reparații) magnetul permanent se demagnetizează iar punctul său de funcționare se deplasează în punctul A_1 . La refacerea circuitului magnetic, magnetul se remagnetizează, dar punctul de funcționare nu se întoarce în A, ci se deplasează pe o dreaptă paralelă cu tangenta (d) până în punctul A'.

În cazul materialelor cu H_c mic (magneți metalici tip AlNiCo), energia magnetică în punctul A' este semnificativ mai mică decât în punctul A (figura a). De cele mai multe ori, mașina electrică nu mai poate funcționa și este necesară o remagnetizare a magnetului permanent. Dacă magnetul permanent are H_c mare (supermagneți dar și ferite) atunci punctul A' este foarte apropiat de A iar fenomenul de demagnetizare nu este semnificativ (figura b).

CERINȚE

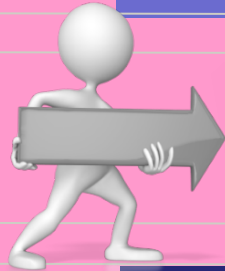
01

Stabilitate de lungă durată a caracteristicilor magnetice



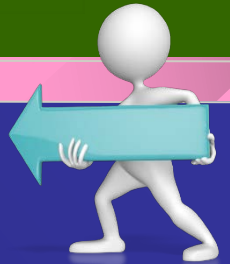
02

Rezistență la șocuri și acțiunea agenților chimici



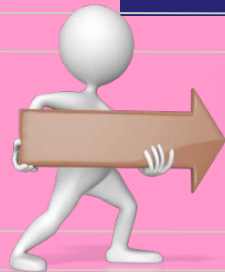
03

Rezistivitate electrică mare



04

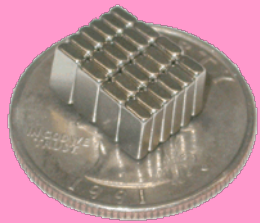
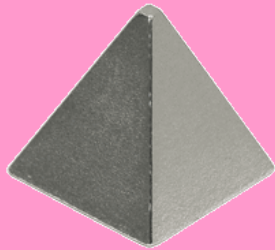
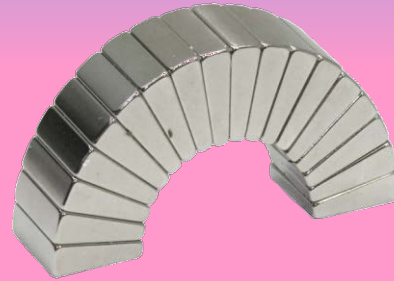
Modificările fluxului magnetic inductor generate de supracurenții care apar în funcționarea mașinii să fie reversibile



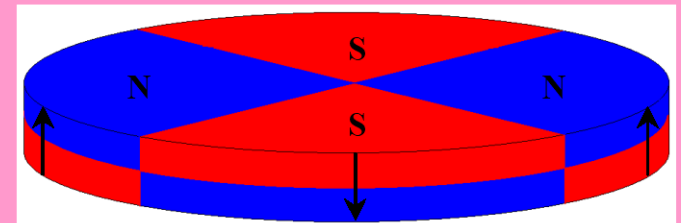
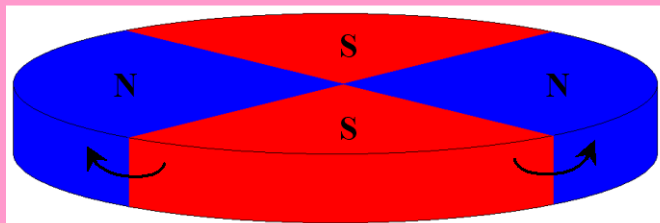
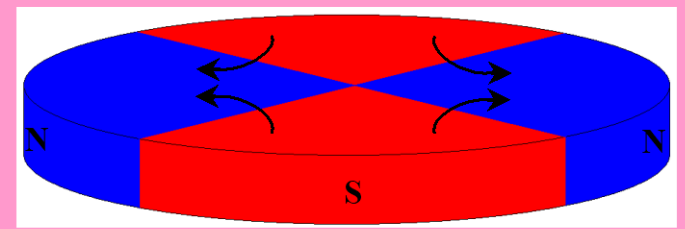
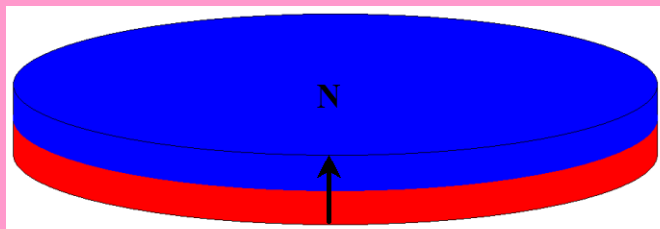
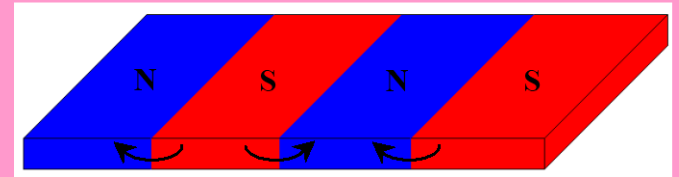
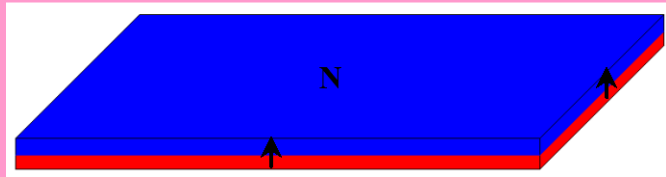
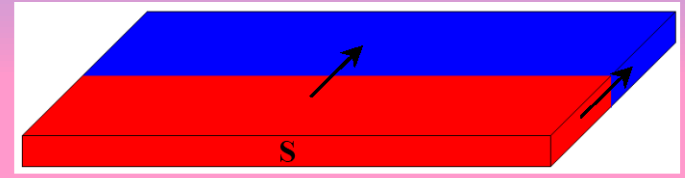
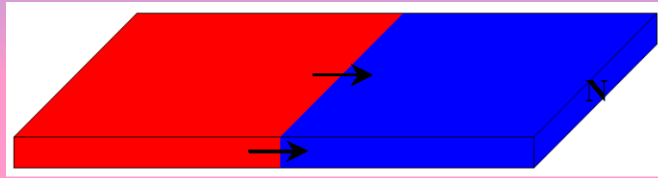
05

Temperatura maximă de funcționare a magneților să fie mai mare decât temperatura corespunzătoare funcționării circuitului magnetic al mașinii

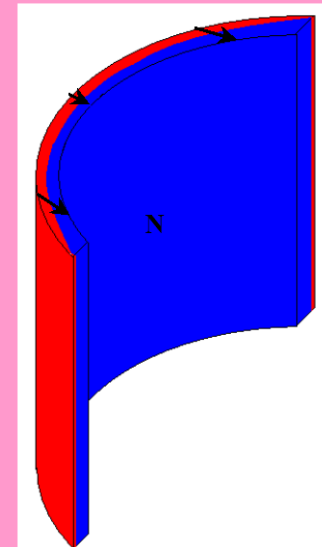
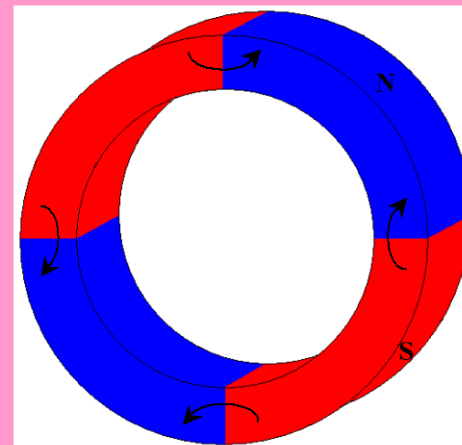
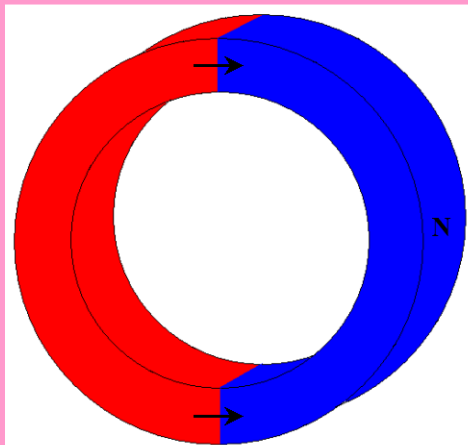
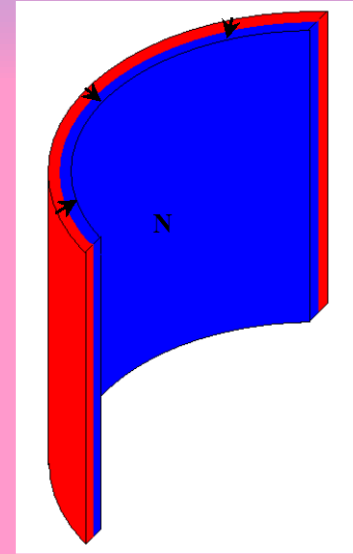
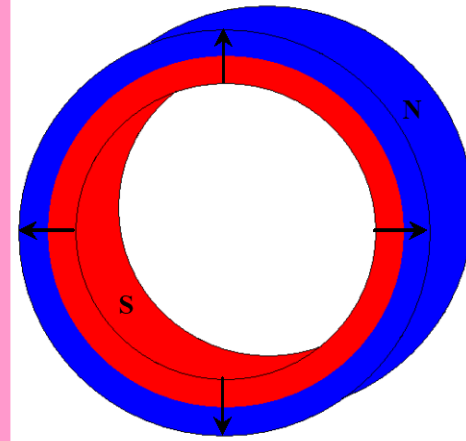
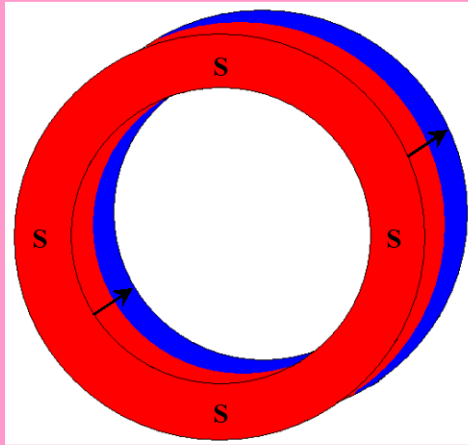




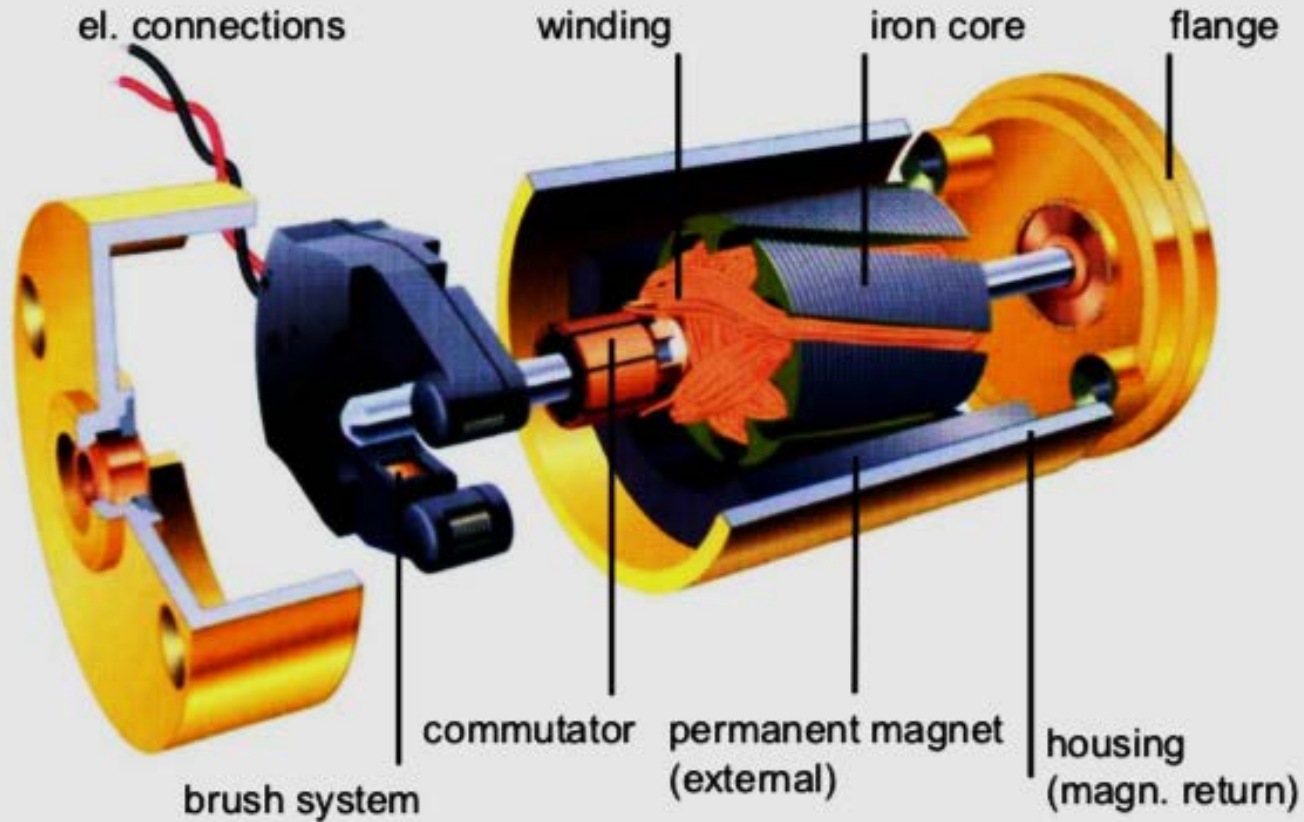
Modalități de magnetizare a magneților permanenți



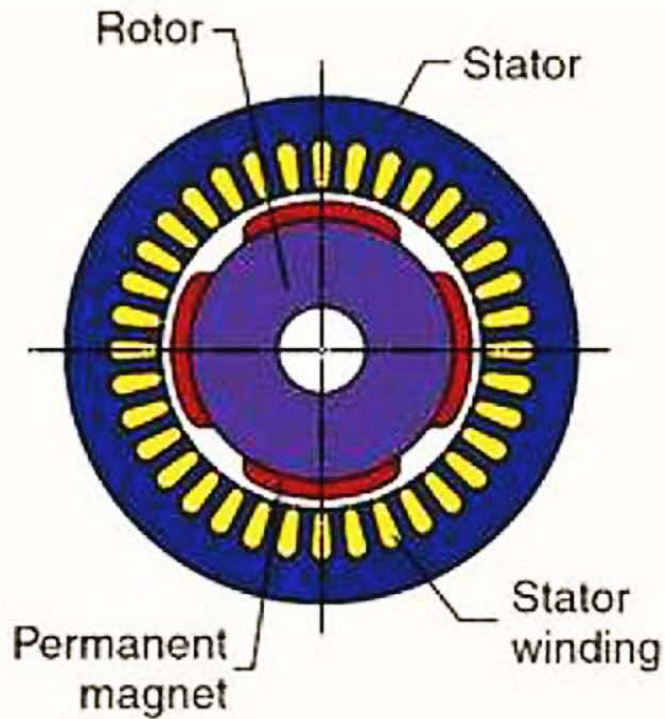
Modalități de magnetizare a magneților permanenți



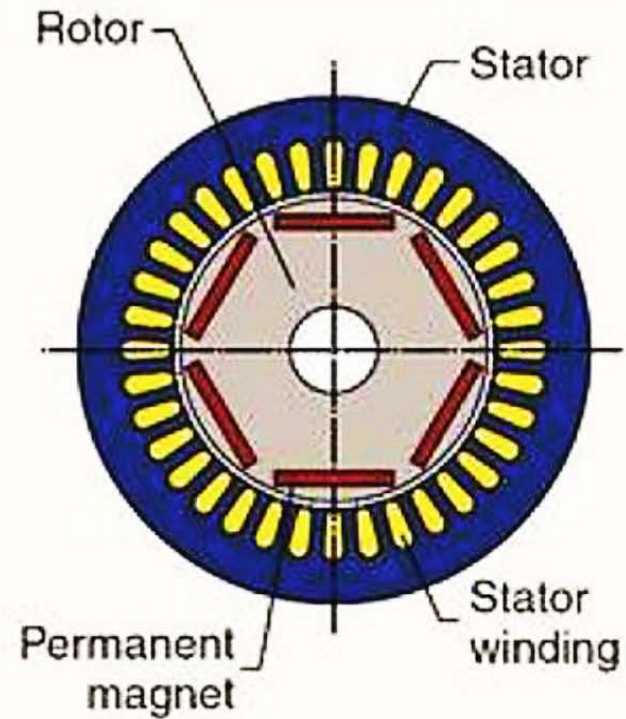
DC machine with permanent magnet excitation



Permanent magnet synchronous machine

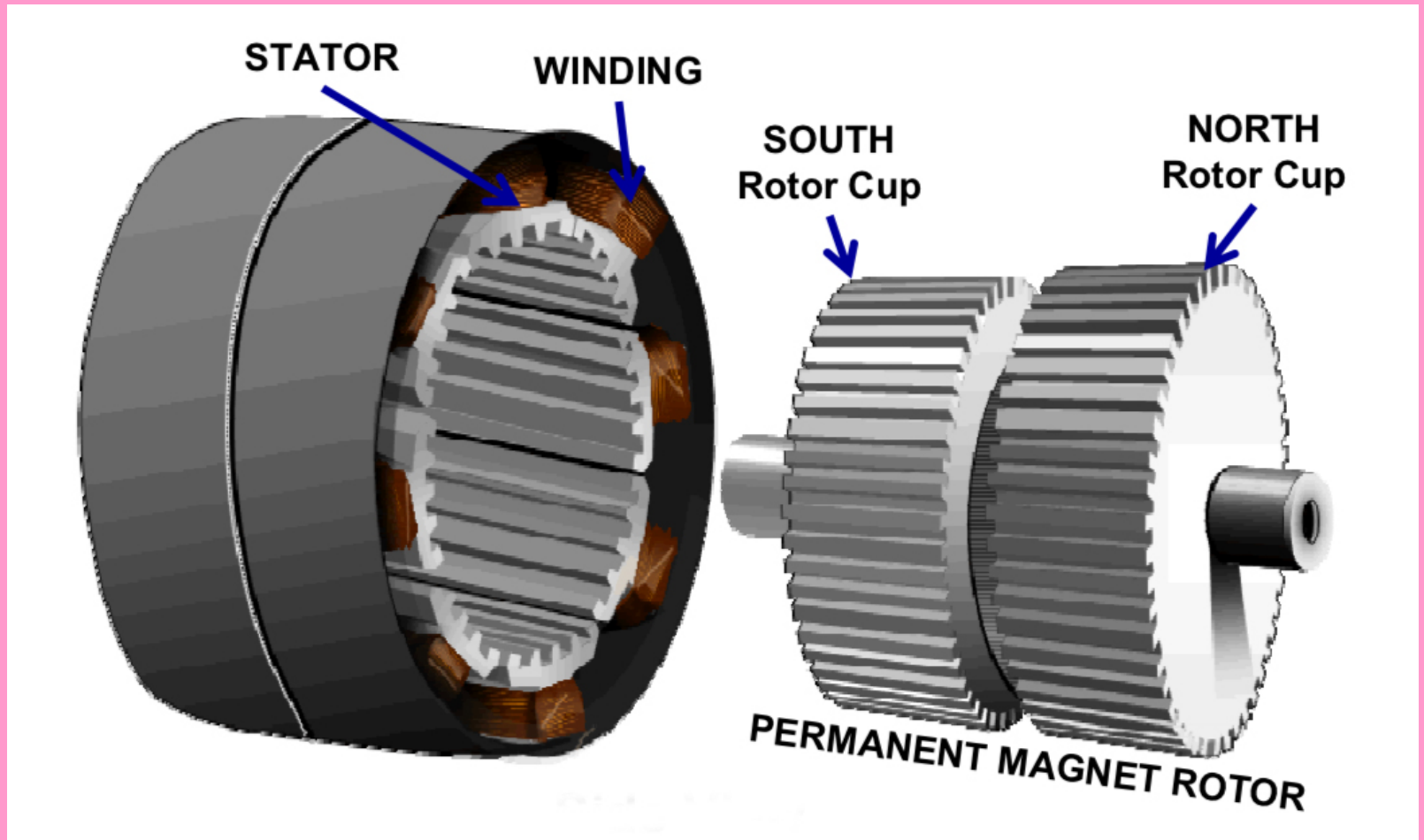


Surface mounted permanent magnet motor (SPM).

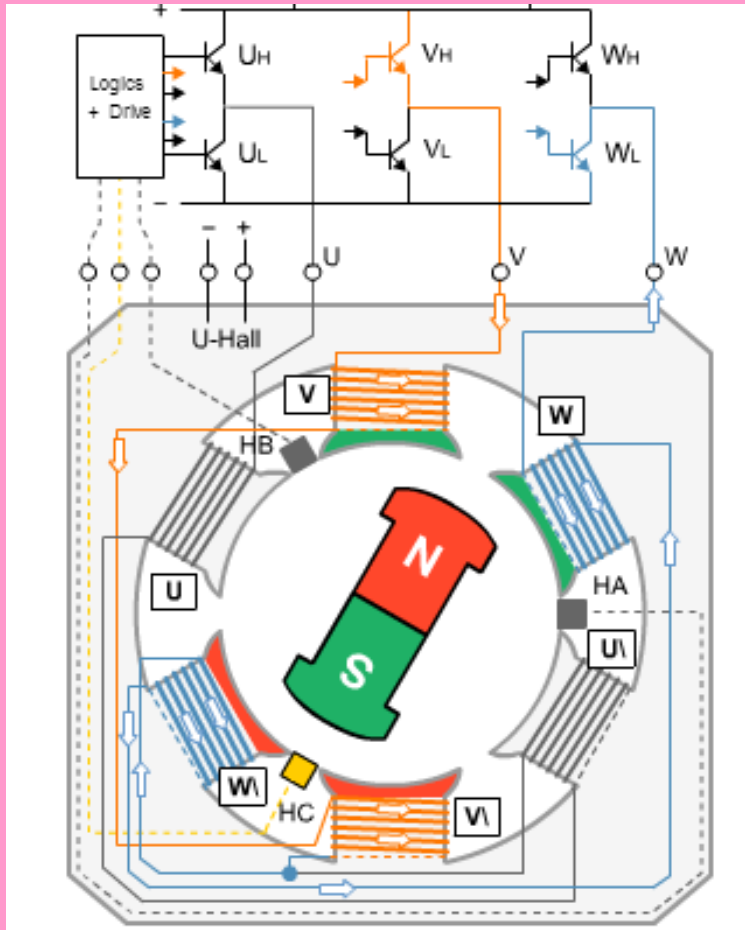


Interior permanent magnet motor (IPM).

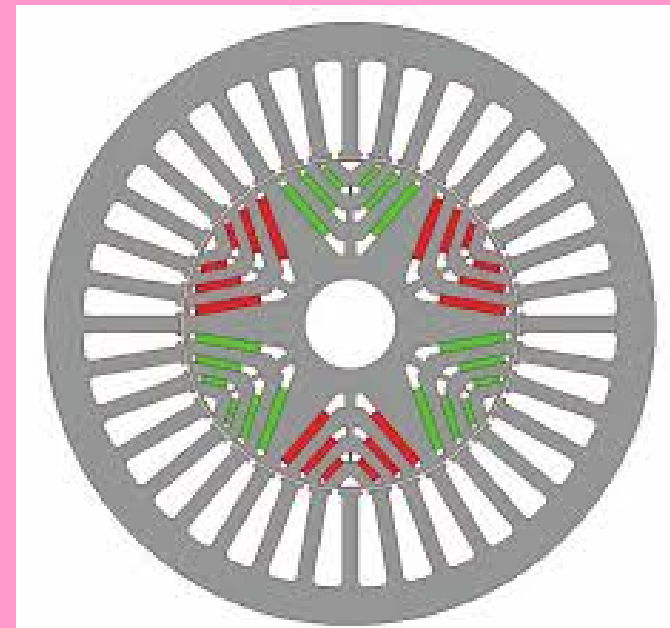
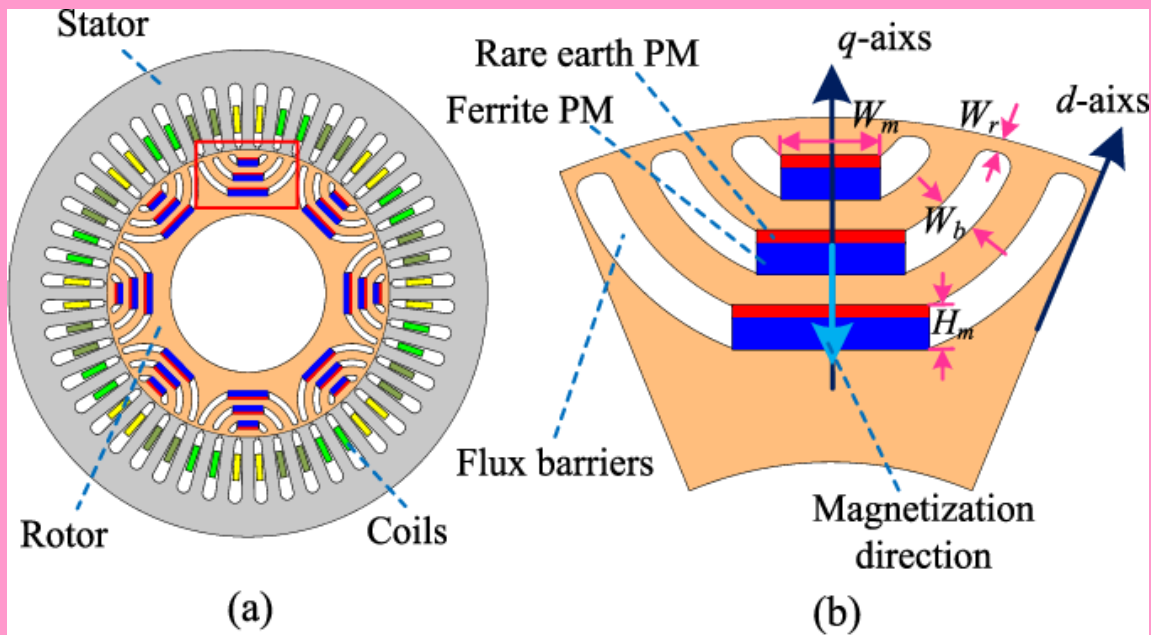
Permanent magnet stepper motor



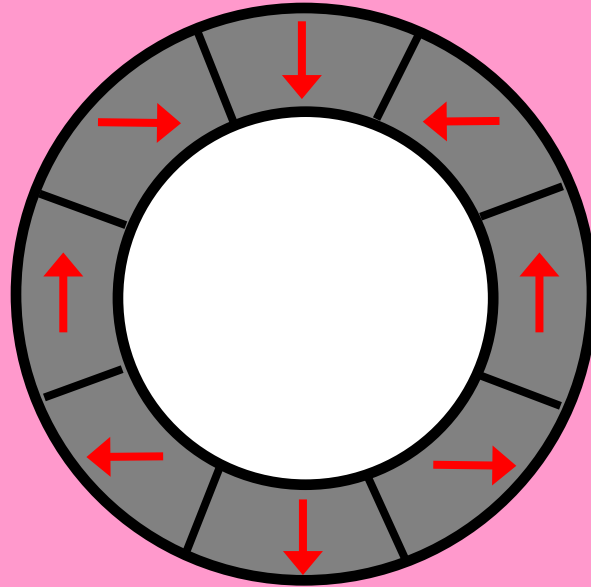
Brushless DC Motor



Permanent magnet assisted synchronous reluctance motor



Halbach array concept



Structurile Halbach au fost investigate începând din anul 1979 de către Klaus Halbach. Intenția lui a fost de a găsi o modalitate mult mai eficientă de utilizare a magneților permanenți. Chintesența conceptului constă în poziționarea specială a magneților permanenți care au direcții de magnetizare diferită.

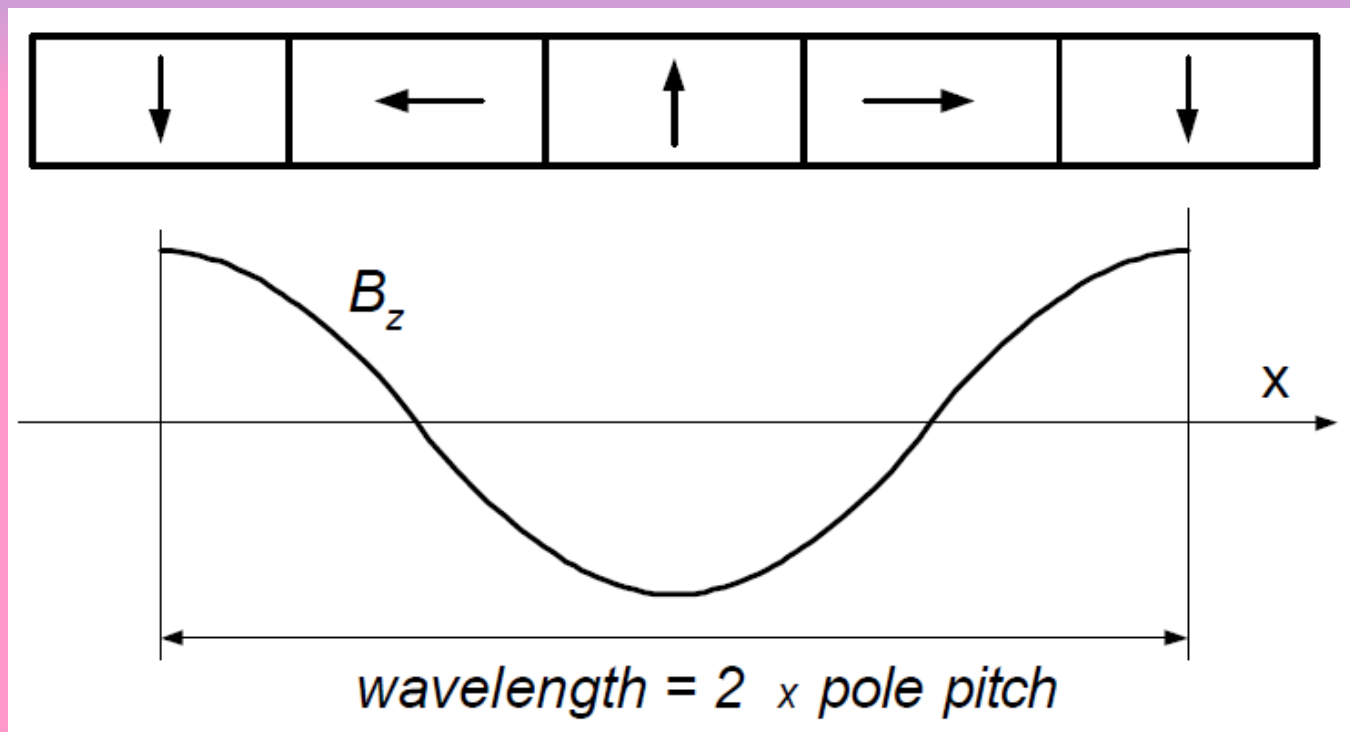


Fig. 2

Pentru structura din fig.2, câmpul creat are o variație cosinusoidală.

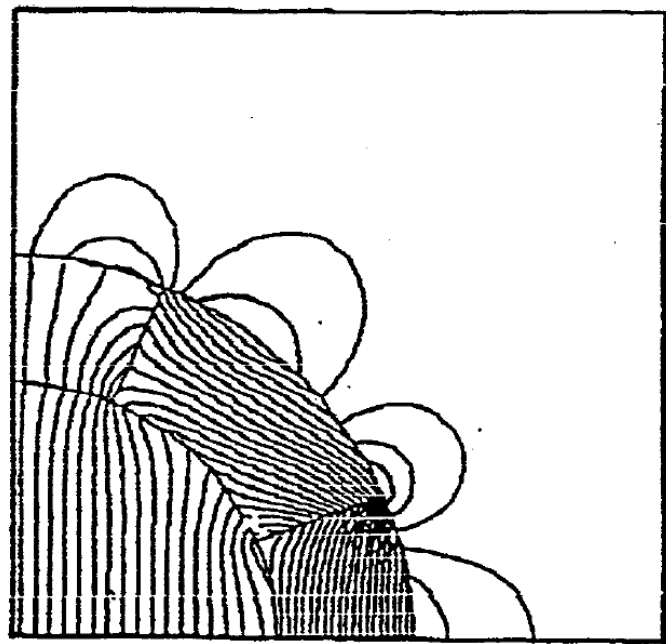


Fig.3

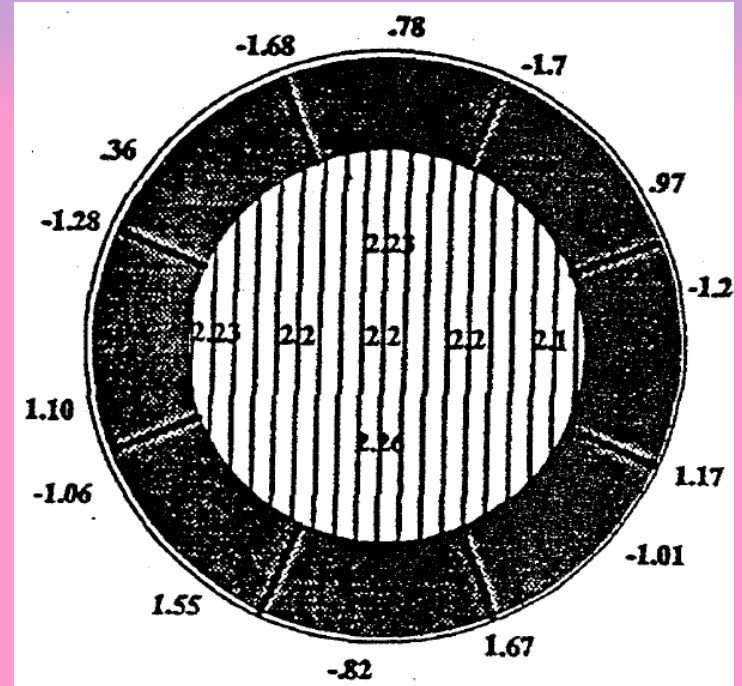


Fig.4

Structura cu 2 poli, pe care a considerat-o cea mai avantajoasa, produce un câmp cvasi-uniform în interior în timp ce, în exterior, câmpul este aproape anulat.

Fig.3 prezinta liniile de camp obtinute prin analiza MEF iar fig.4 arata valorile câmpului creat de structura Halbach.

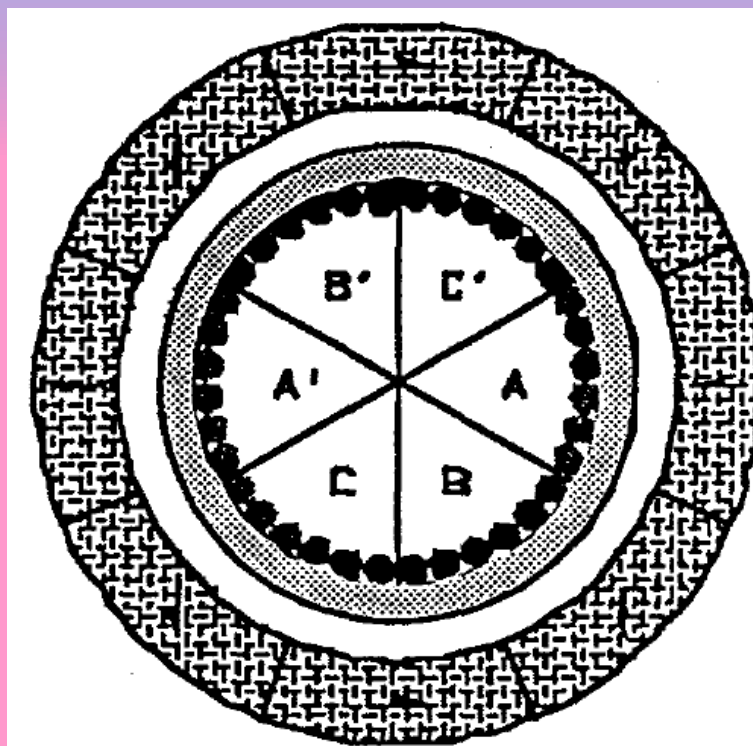


Fig. 5

Următorul pas a constat în conceperea unui motor electric bazat pe acest aranjament. R.F. Post propune structura din Fig. 5. Cea mai importantă particularitate este lipsa totală a fierului. Practic este o mașină fără fier cu toate avantajele ce decurg de aici. În mod obligatoriu înfășurarea trebuie plasată în interiorul structurii Halbach.

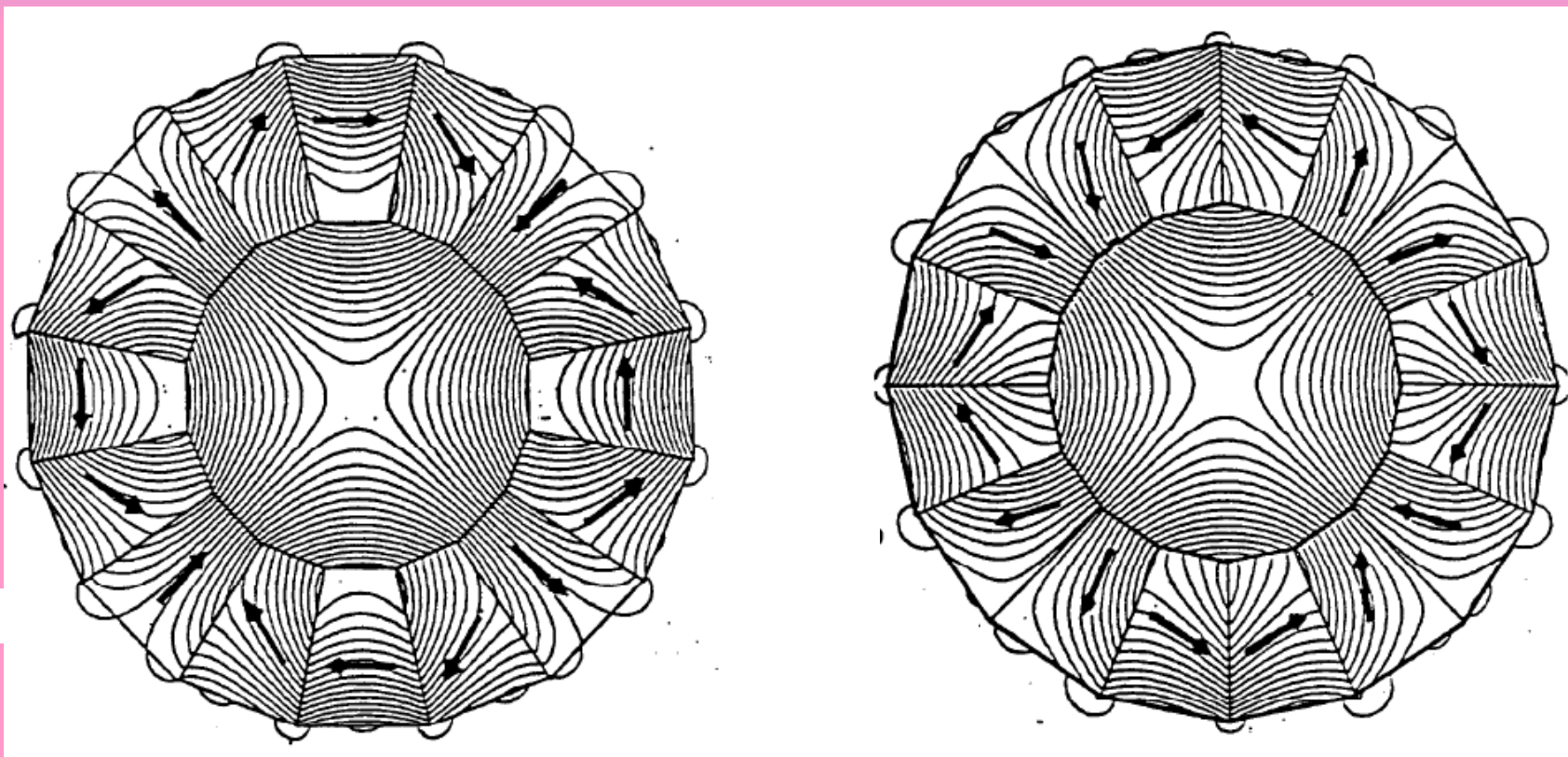
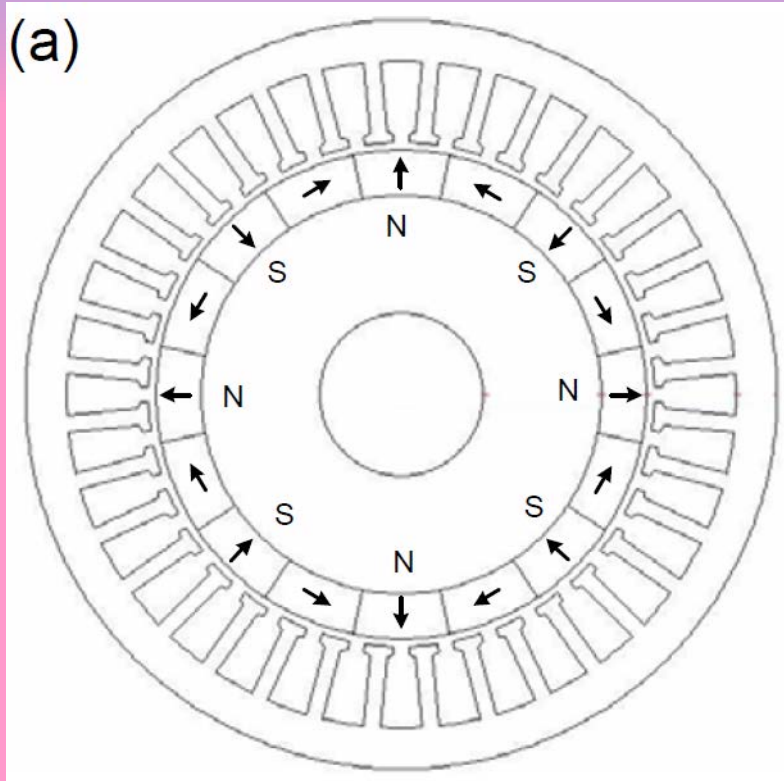
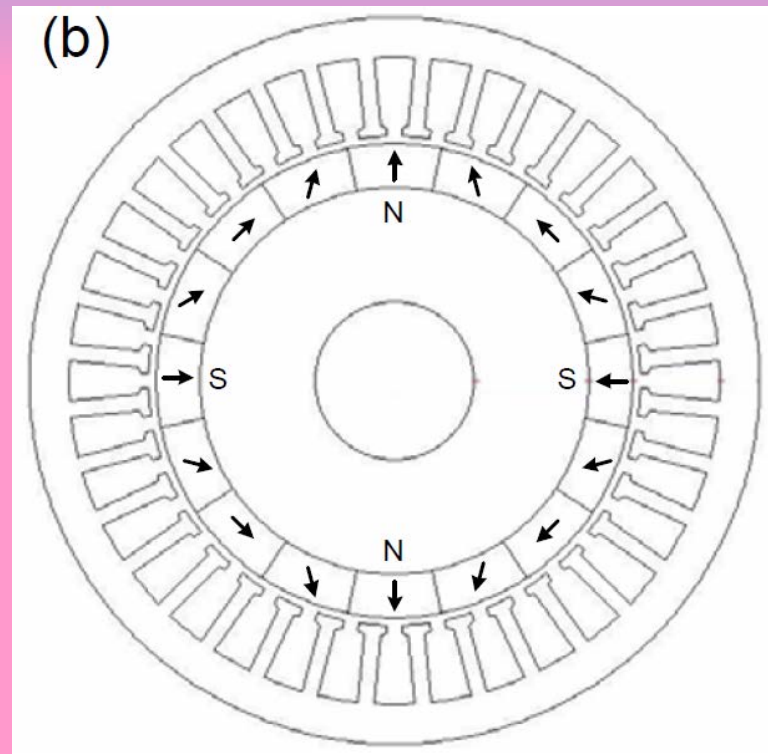


Fig.6 Structuri Halbach cu 4 poli ce folosesc magneti permanenți de tipul $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$



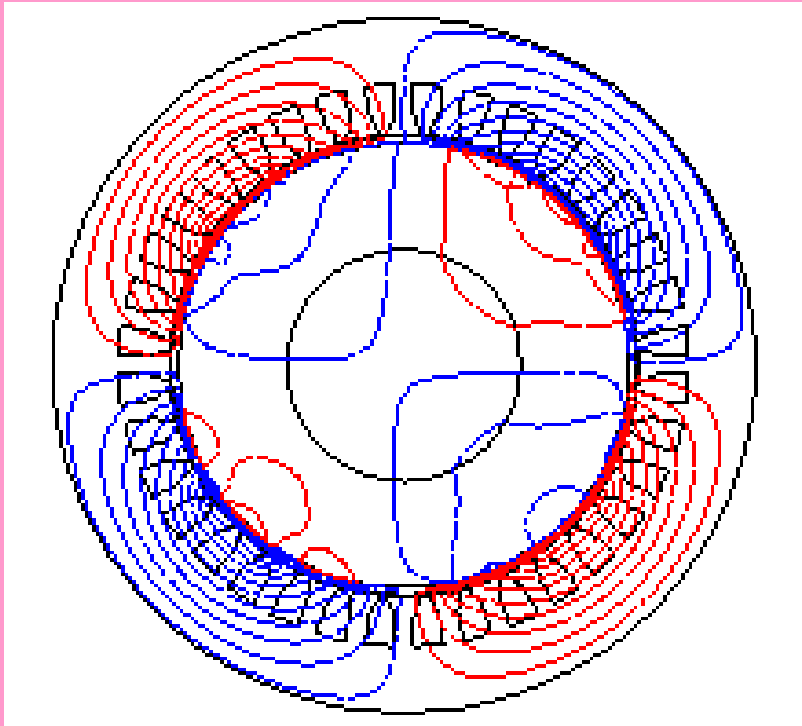
8-pole rotor with 90° Halbach array



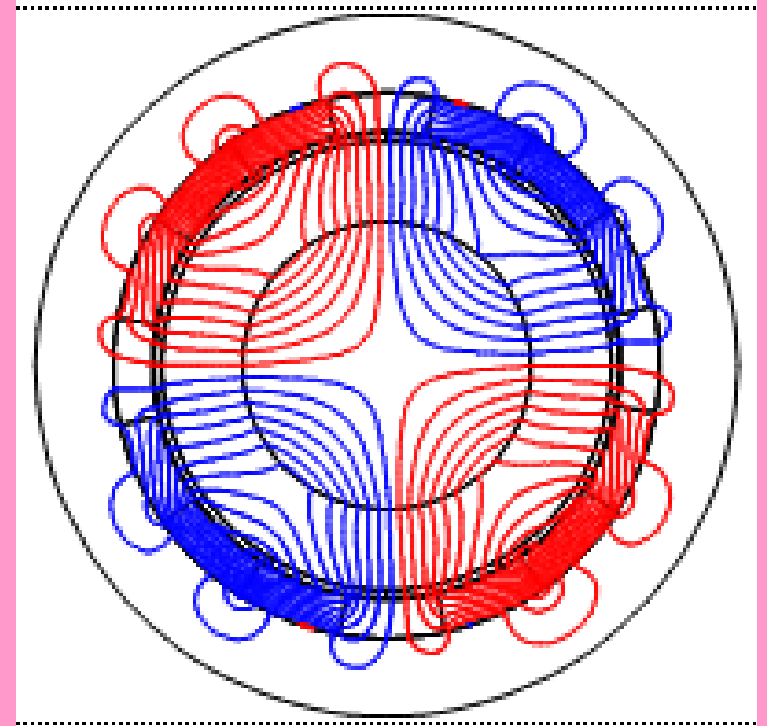
4-pole rotor with 45° Halbach array

Înfășurarea poate fi plasată și în exteriorul structurii dar, în acest caz, este nevoie de suport feromagnetic.

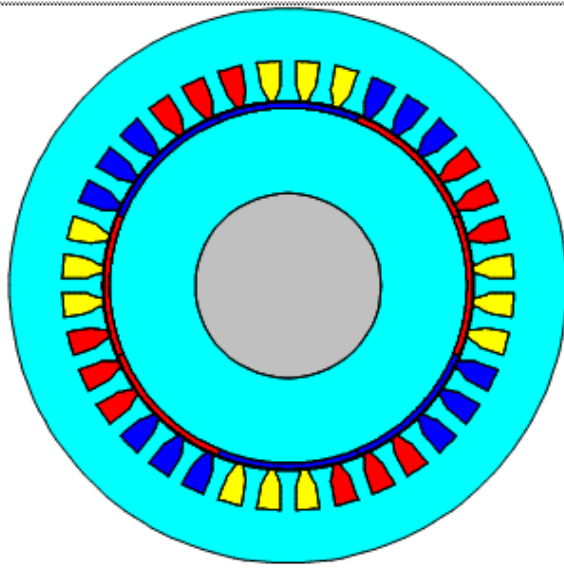
Flux lines distribution



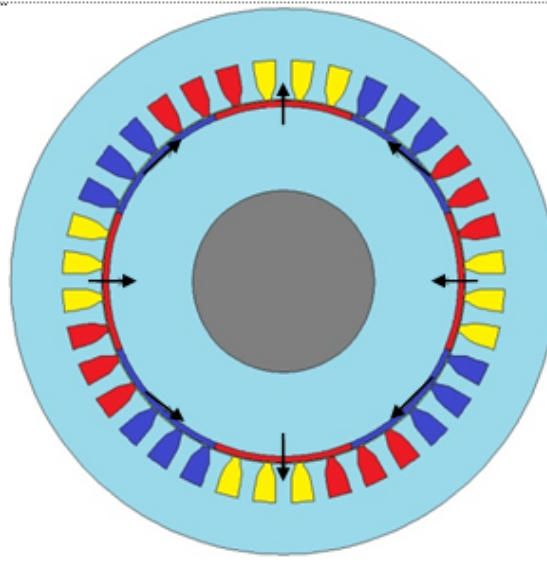
a. Inner rotor



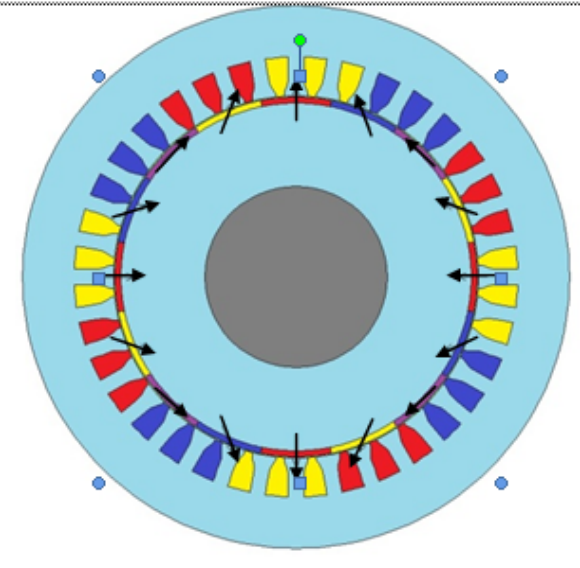
b. outer rotor



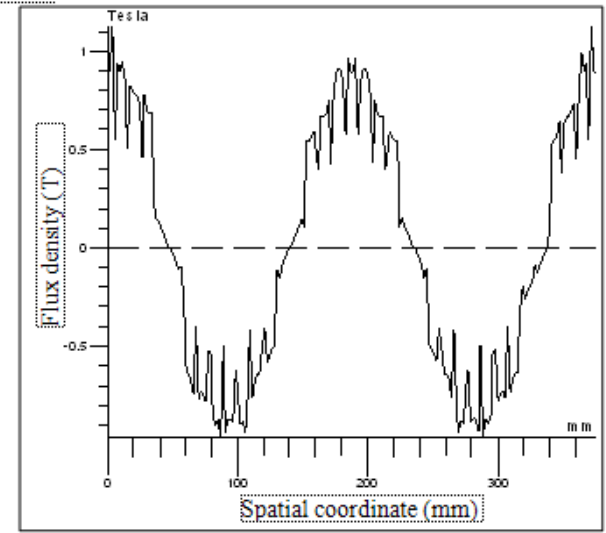
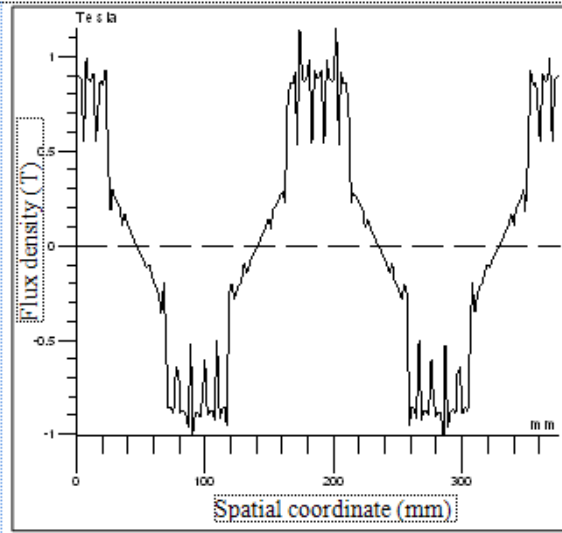
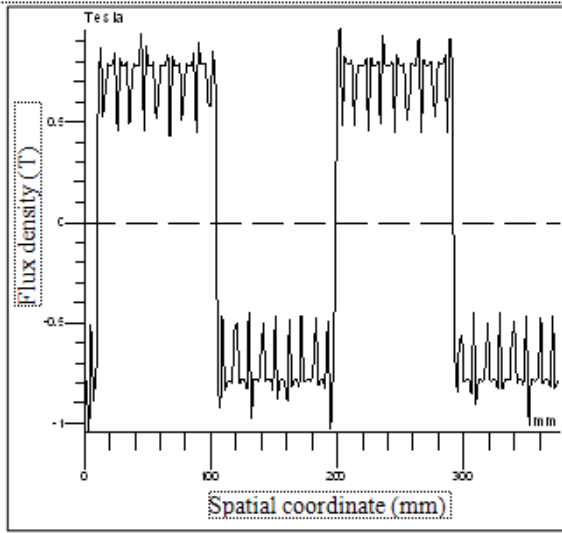
a.



b.



c.



a - Radial magnetization (4 PMs);

b - Halbach array with 90°-45° magnetization (8 PMs) – Type 1;

c - Halbach array with 90°-45° and intermediate magnetization (16 PMs) – Type



1. Armonica fundamentală a câmpului este mai mare de 1,4 ori decât în cazul aranjamentelor convenționale;
2. Aranjamentul Halbach nu necesită prezența fierului, magneții pot fi fixați pe suport neferomagnetic (aluminiu, plastic);
3. Câmpul magnetic are o formă mai apropiată de sinusoidă;
4. Configurația Halbach elimină aproape complet câmpul magnetic din “zona slabă”.

Tipuri de mașini electrice

CUPRINS

1

Mașini de curent continuu
Elemente și tipuri constructive.

2

Mașini asincrone
Particularități, avantaje, dezavantaje.

3

Mașini sincrone
Particularități, avantaje, dezavantaje.

4

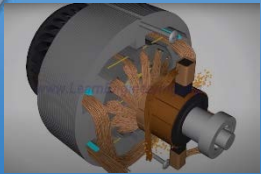
Sisteme de excitație la mașinile sincrone

5

Mașini supraconductoare

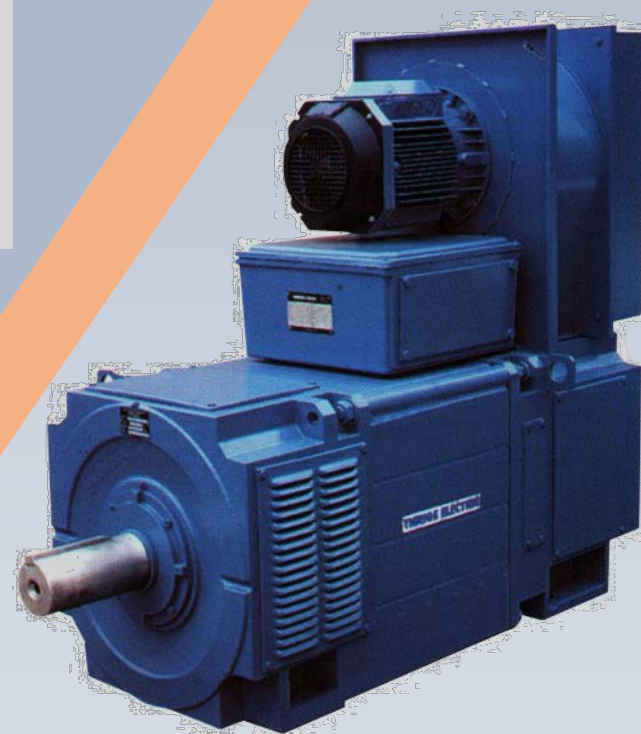
1

Mașini de curent continuu
Elemente și tipuri constructive.

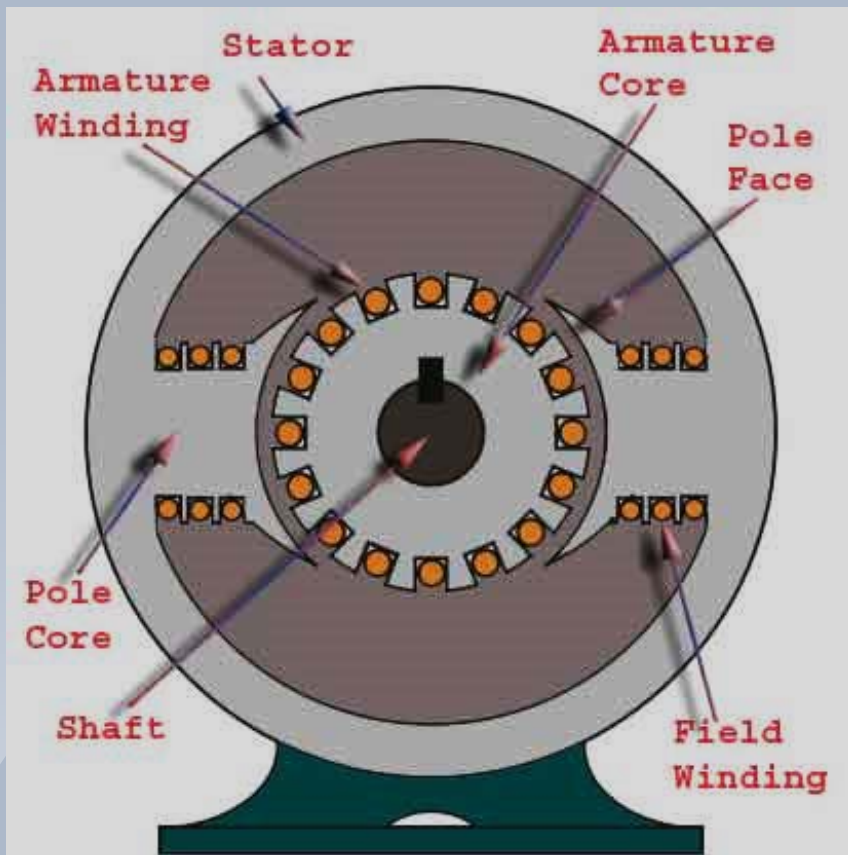




Mașină de c.c. de mică putere



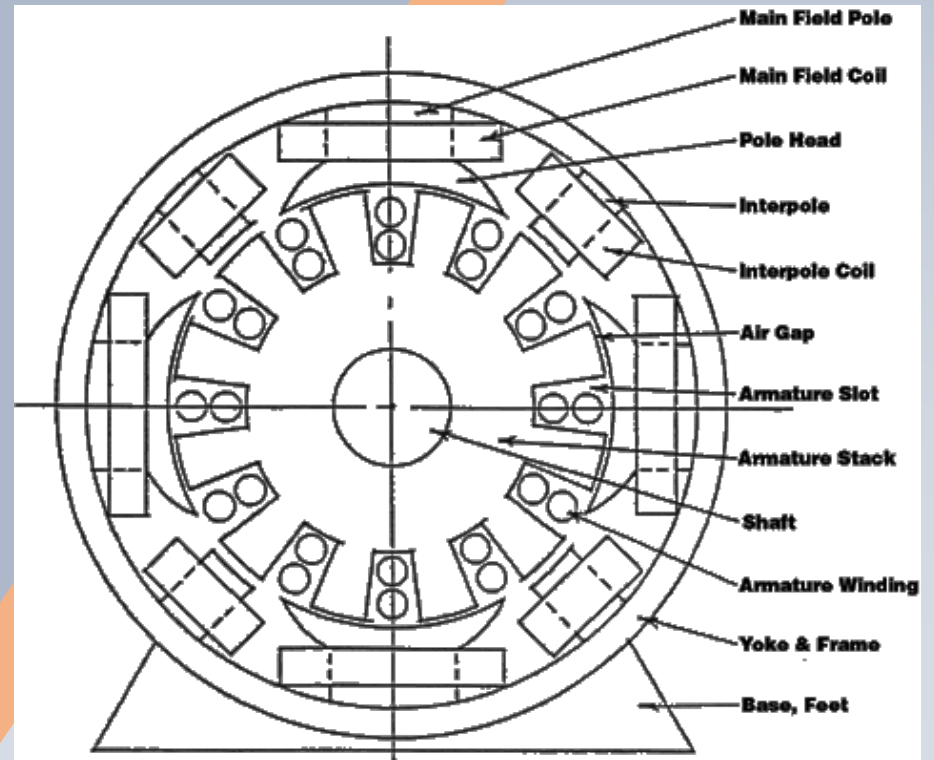
Mașină de c.c. de mare putere cu răcire forțată

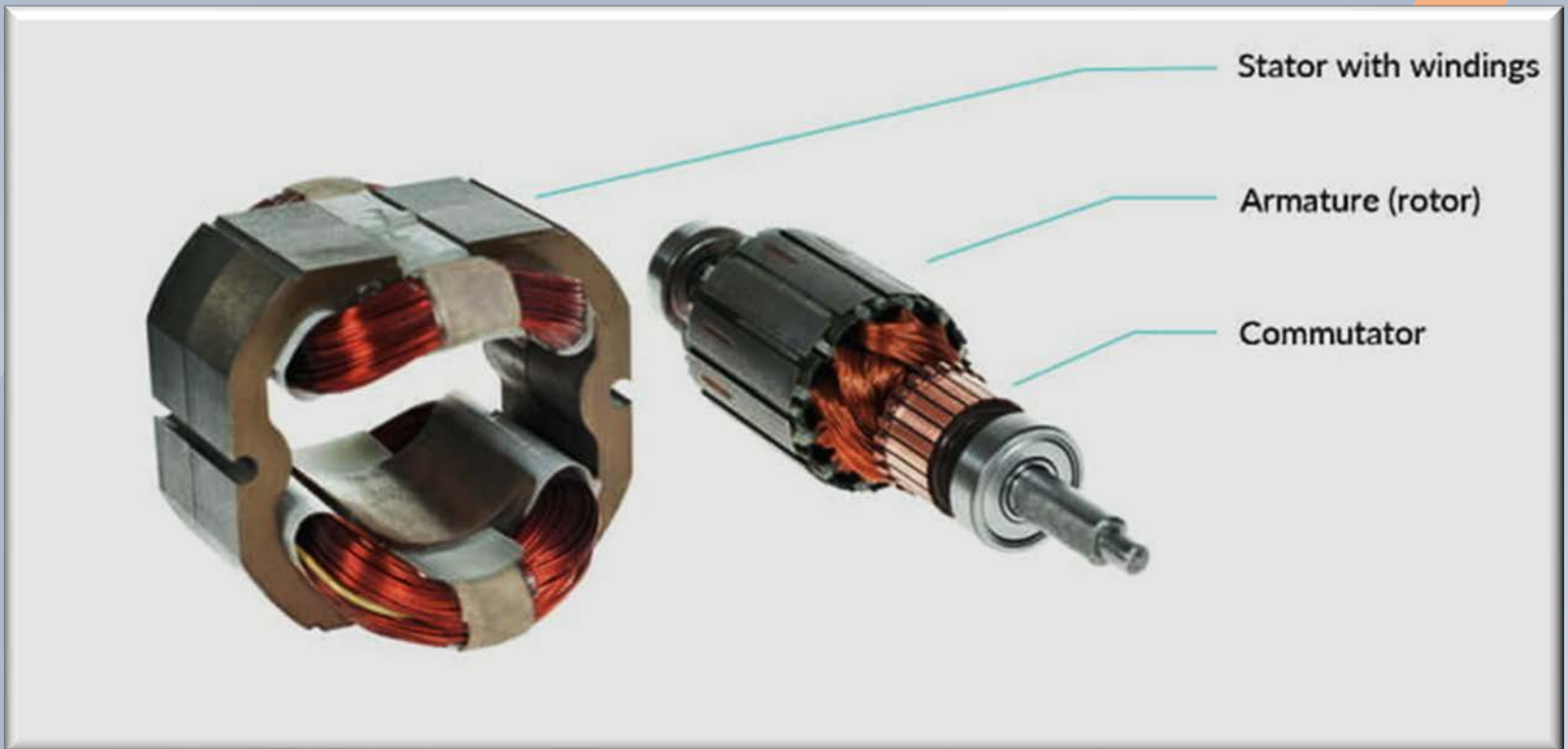


Secțiuni transversale prin mașini de c.c.
 a – mașină cu poli principali;
 b – mașină cu poli principali și auxiliari

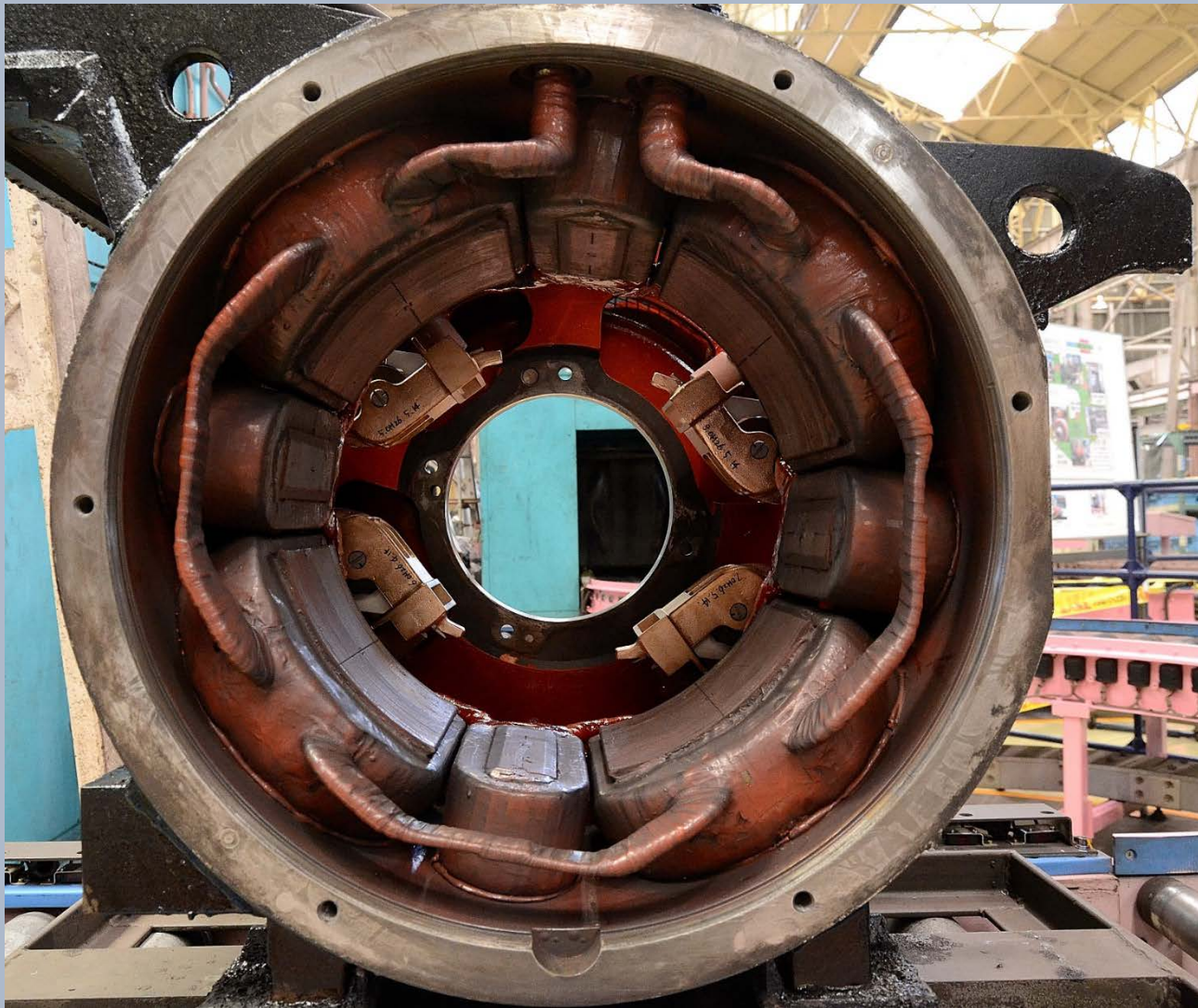


Stator – inductor
Rotor – indus
(Colector + perii) - redresor

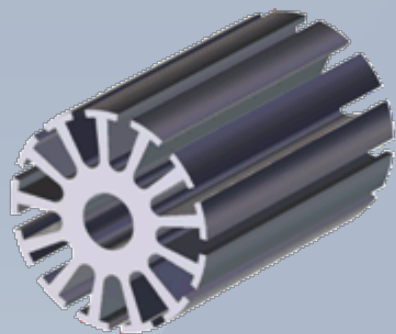




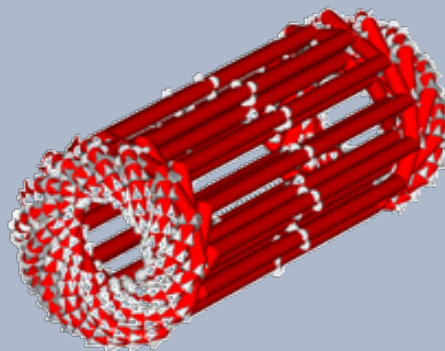
Mașină de c.c. bipolară de mică putere



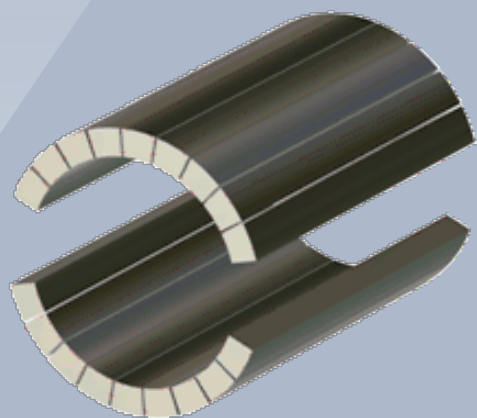
Stator mașină de c.c. cu poli principali și auxiliari



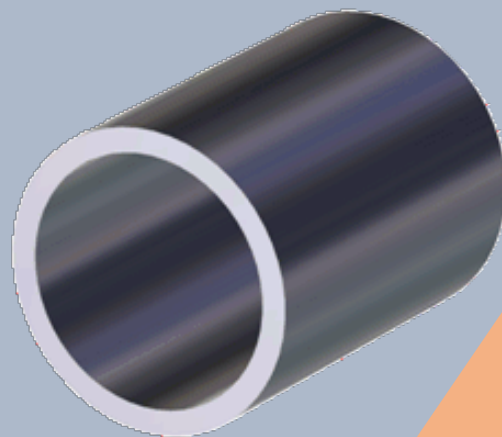
Rotor



Windings



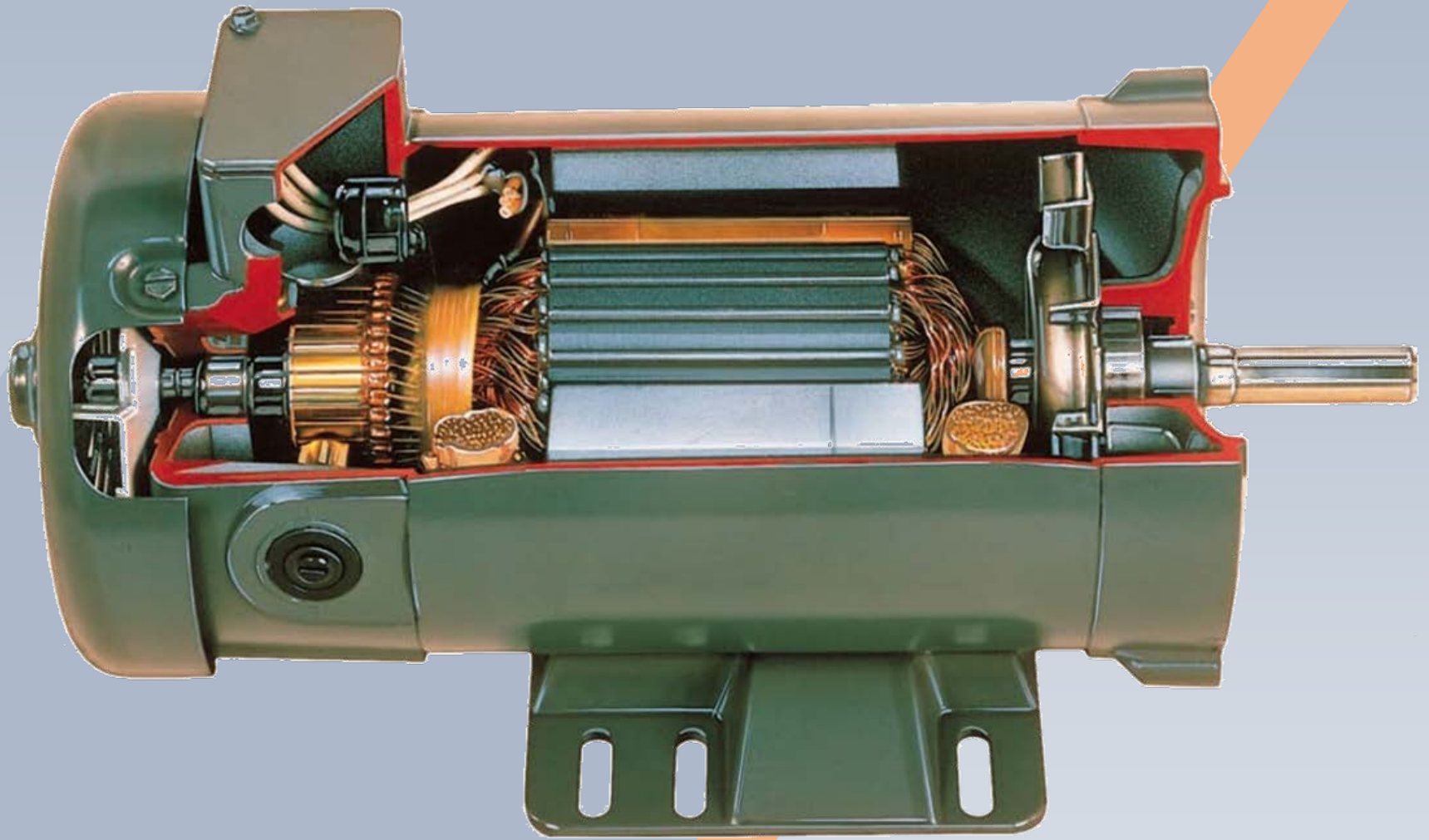
Permanent
Magnets



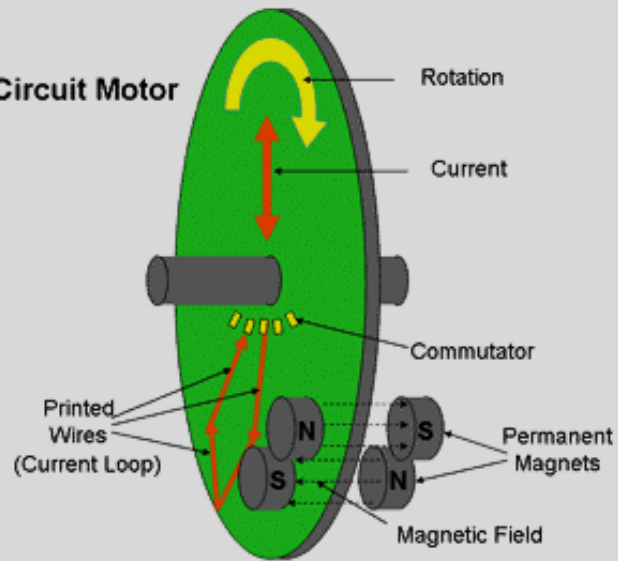
Stator

Secțiune „explodată” prin mașina de c.c. cu
excitație cu magneți permanenți

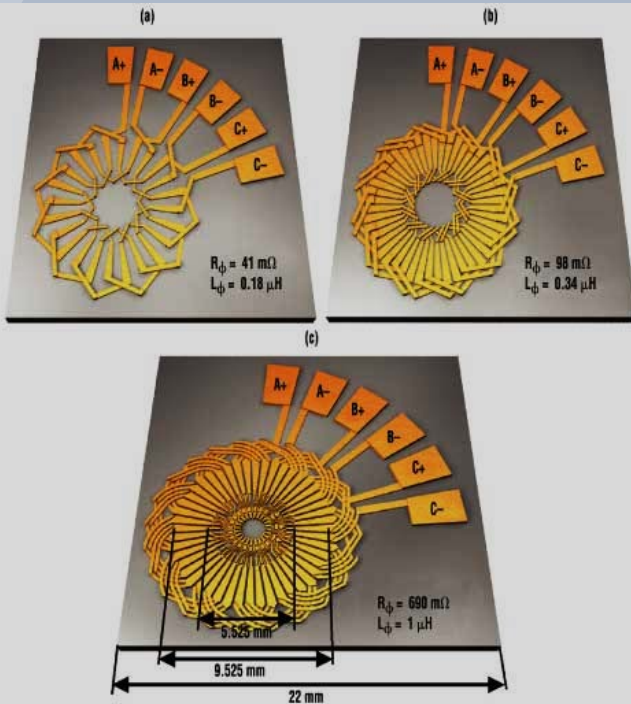
Mașină de c.c. secționată



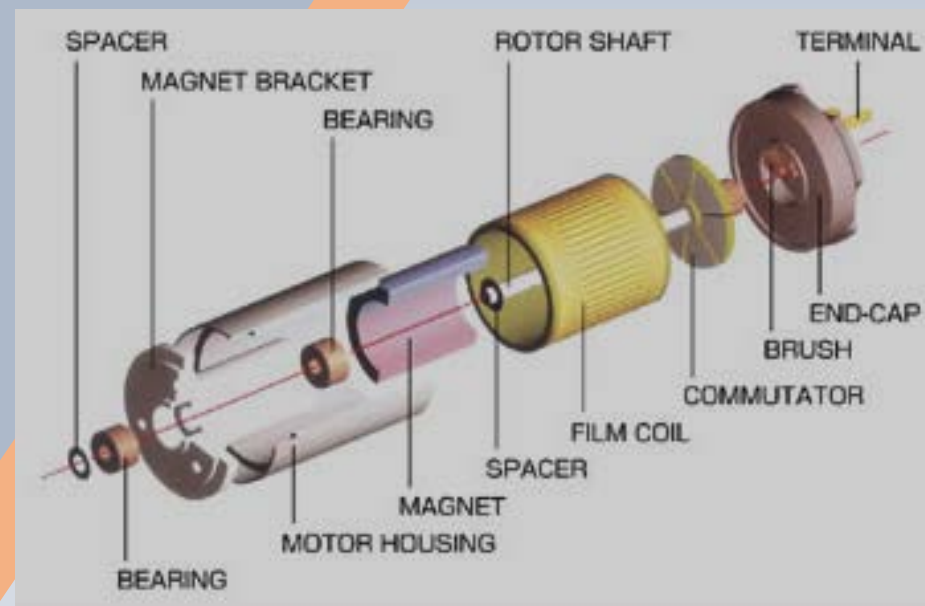
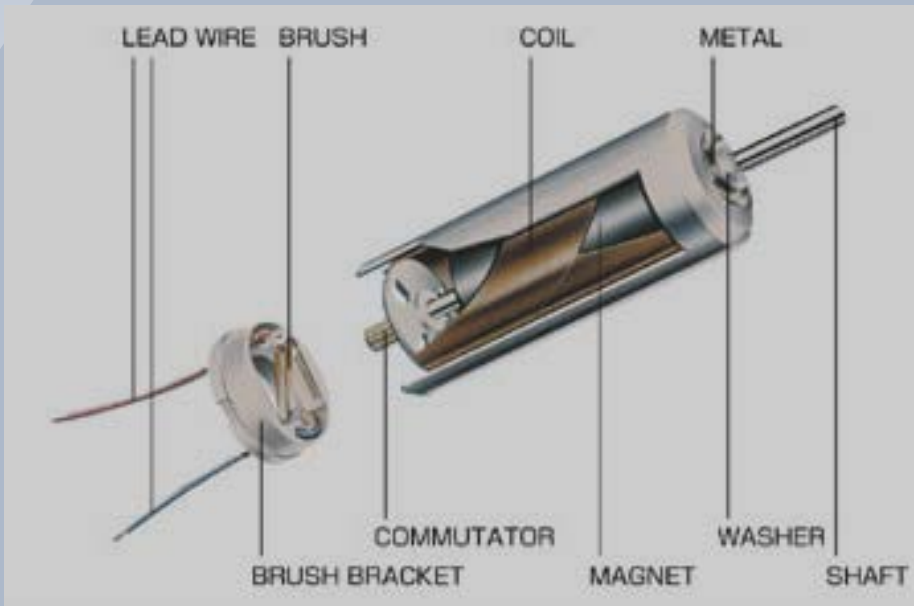
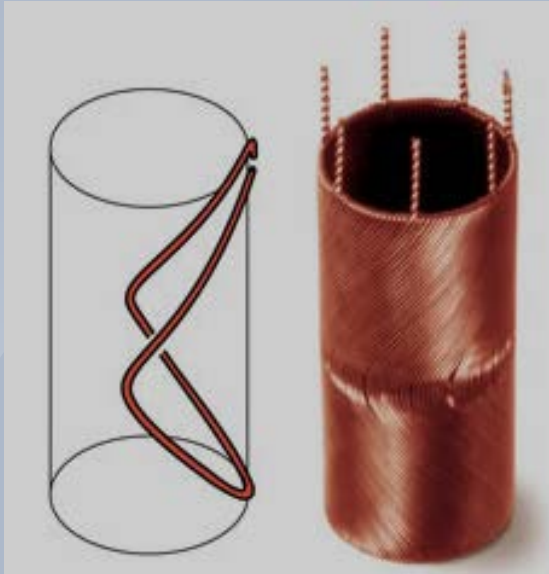
Printed Circuit Motor



Mașină de c.c. cu rotor disc și excitație cu magneți permanenți



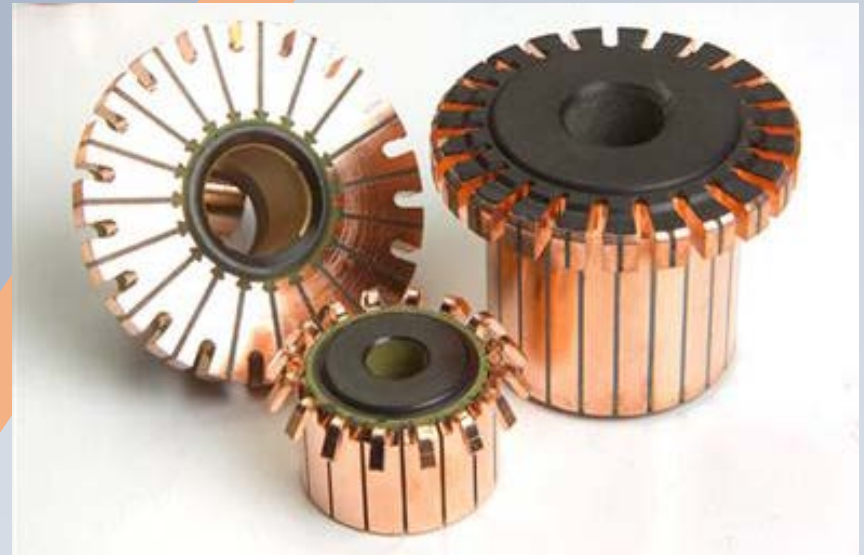
Mașină de c.c. cu înfășurare fără suport („self-supporting”)



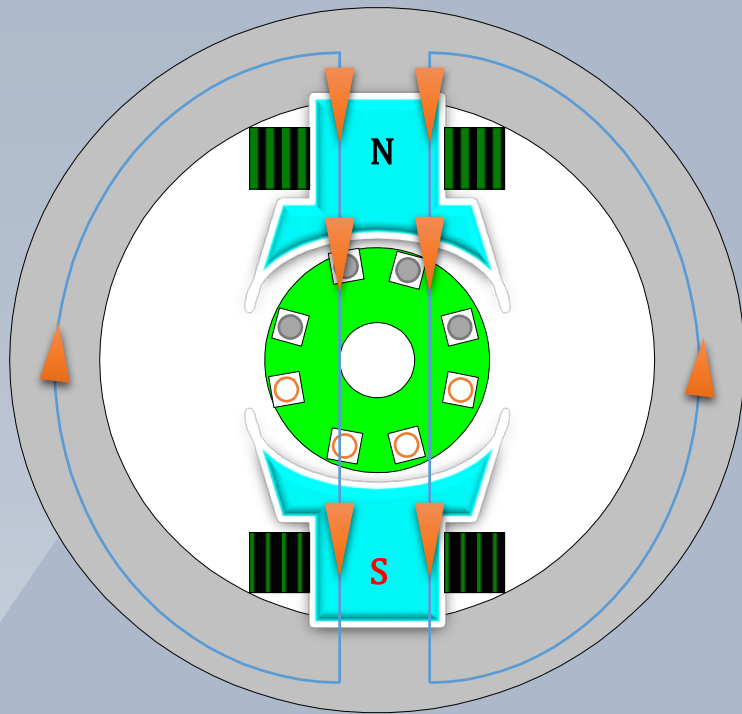
Rotor mașină de c.c. în proces de bobinare



Colector

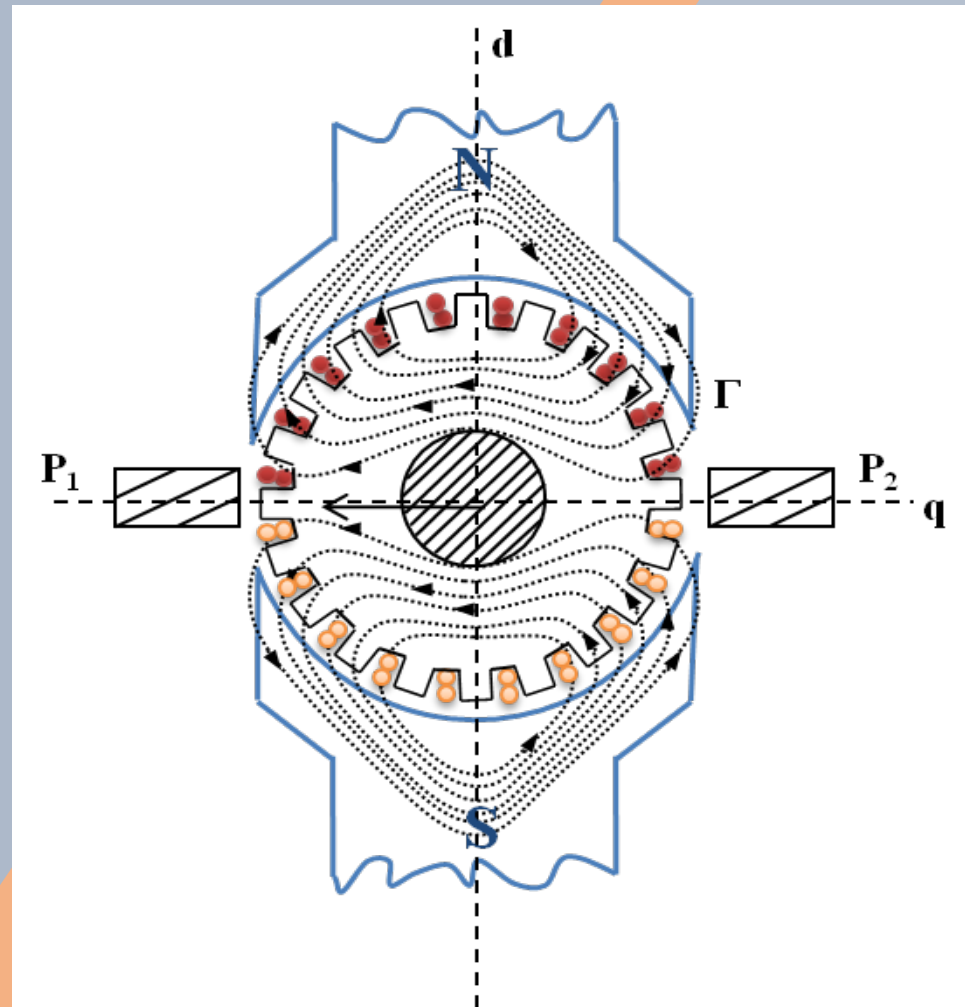


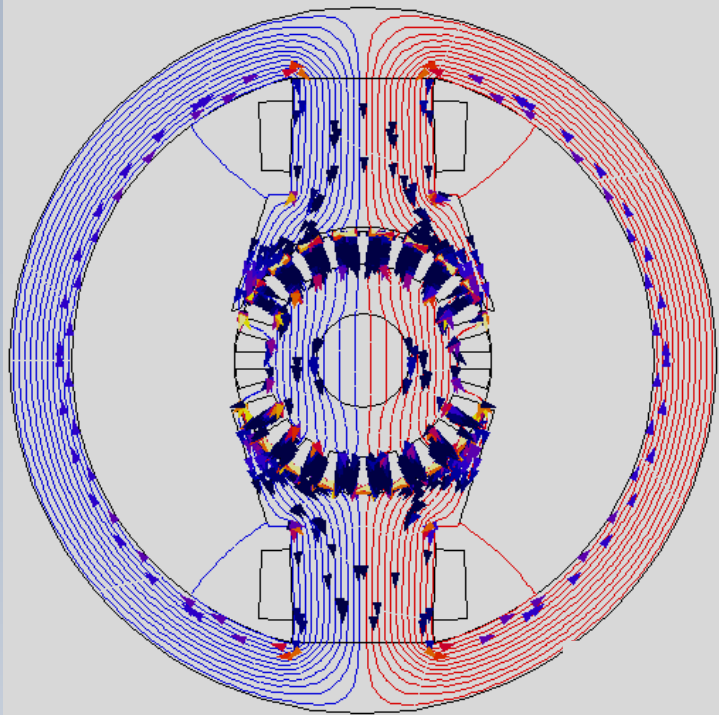
Câmpuri electromagnetice in mașina de c.c.



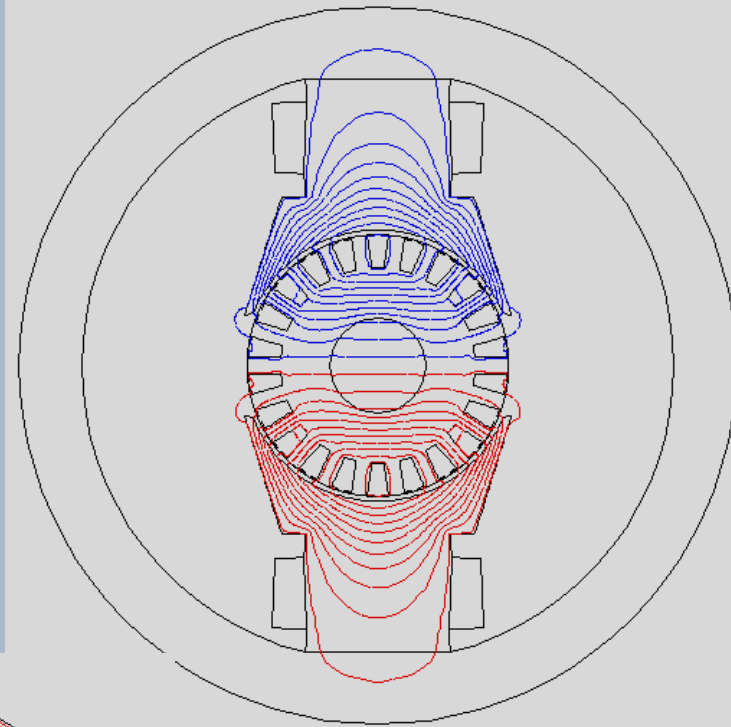
Câmp inductor

Câmp de reacție

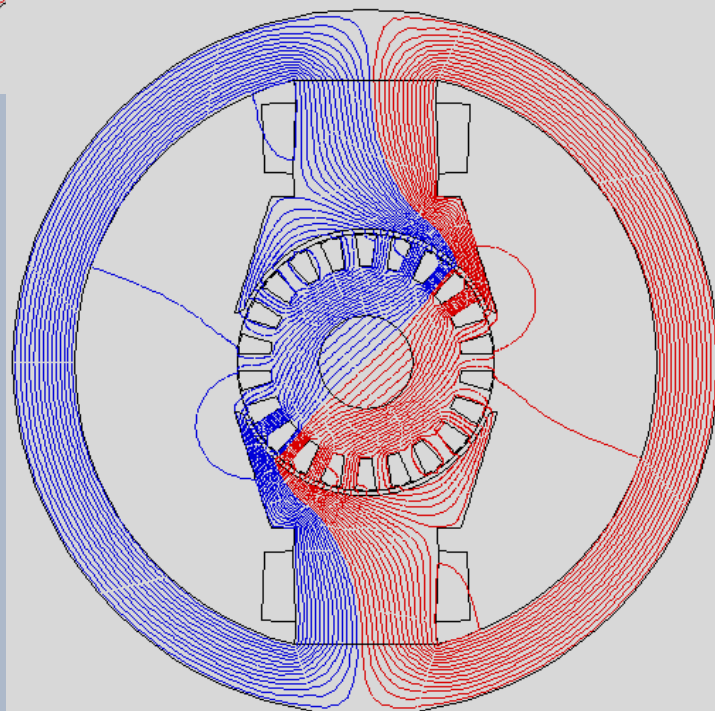




Câmp inductor

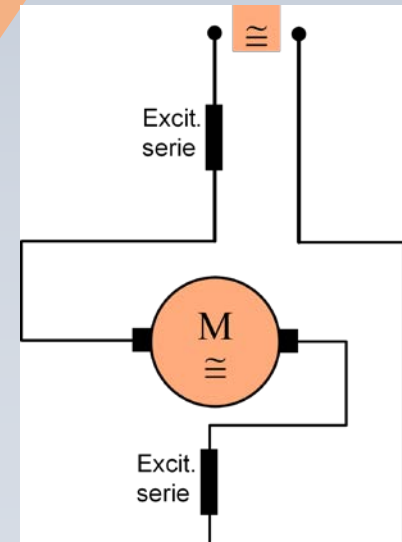
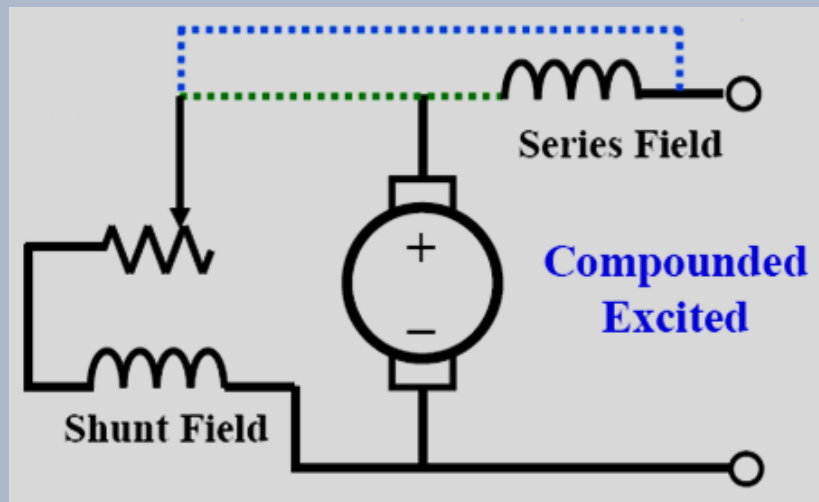
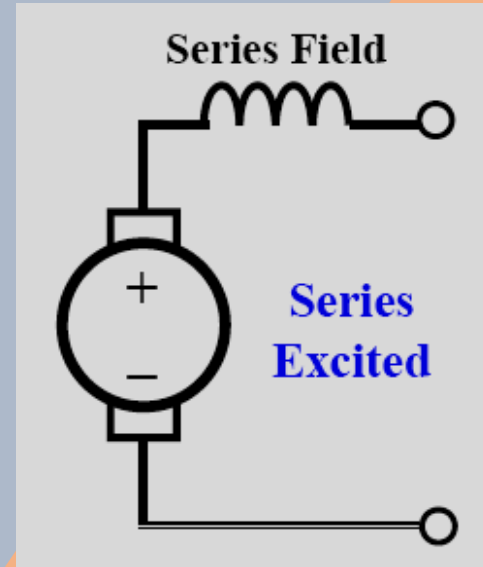
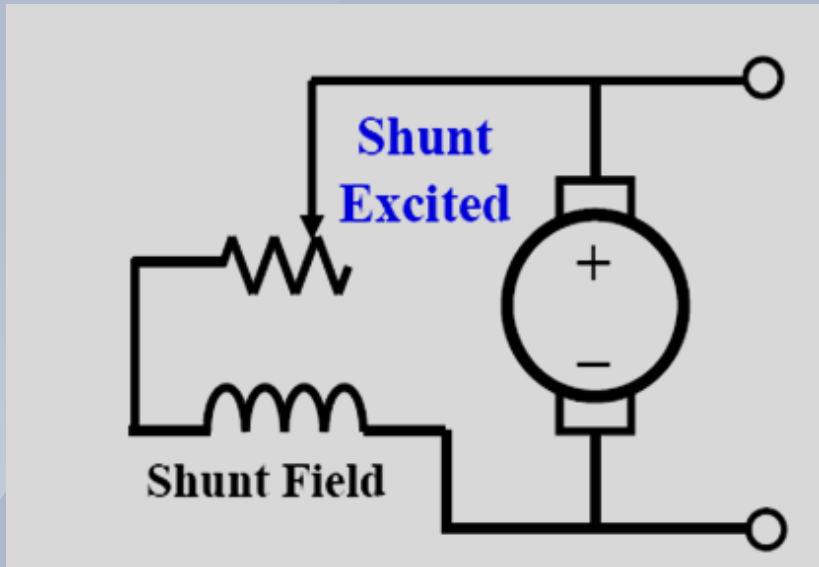


Câmp de reacție



Câmp rezultat

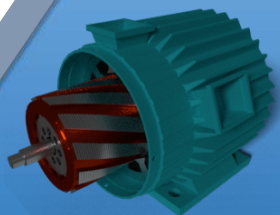
Clasificare MCC după excitație



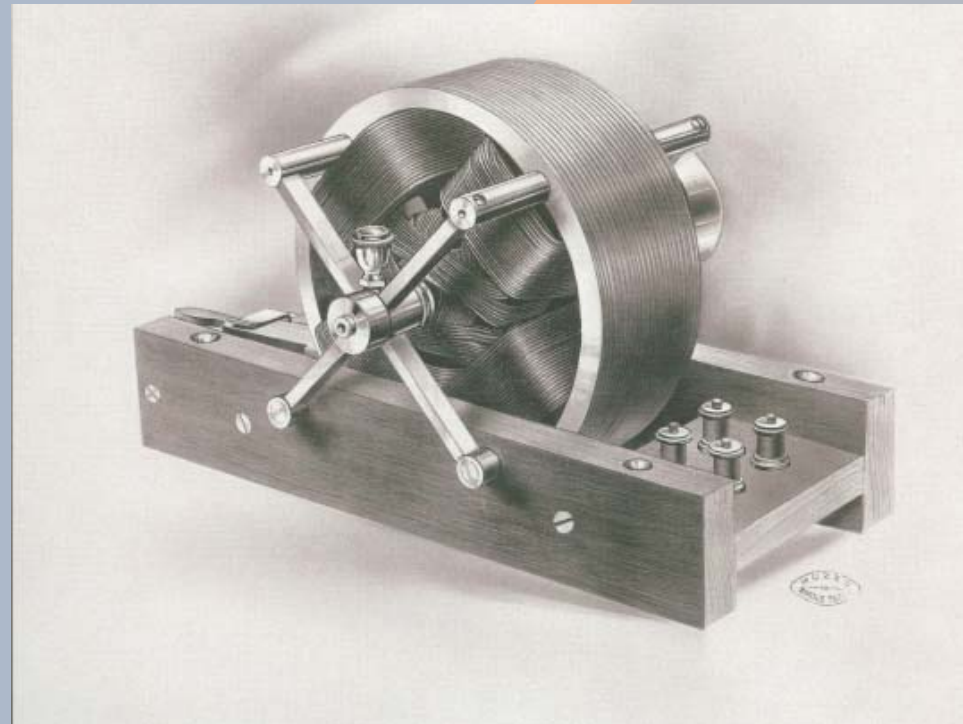
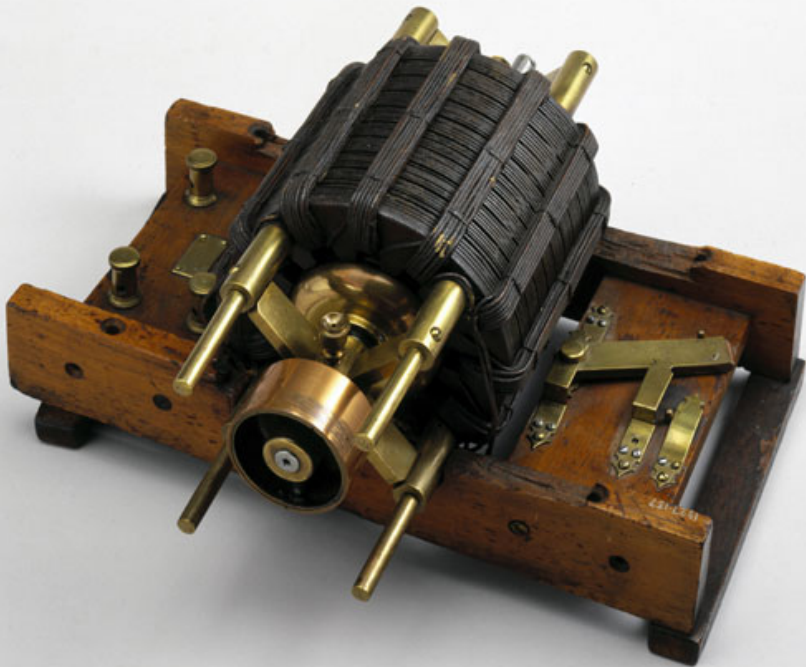
2

Mașini asincrone

Particularități, avantaje, dezavantaje.



Tesla motor (1887)



Ferraris motor (1885)

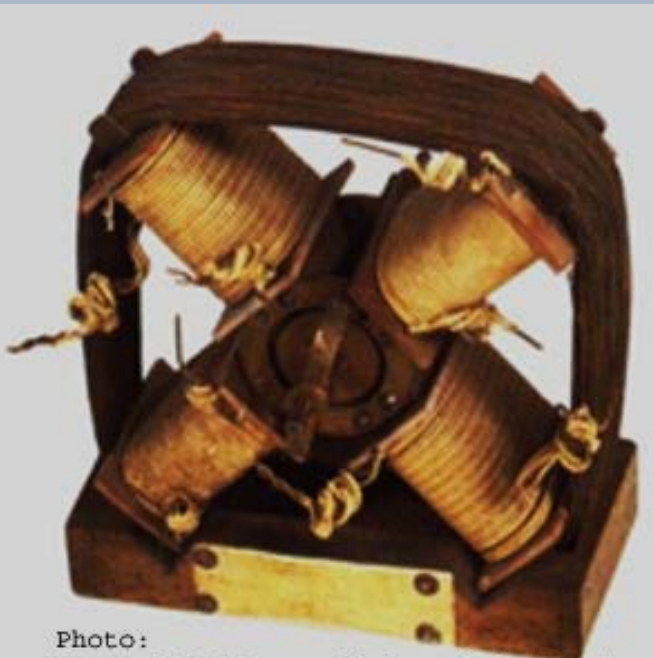
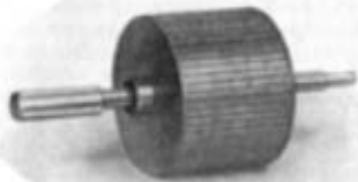
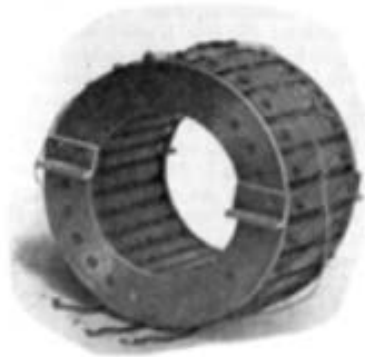
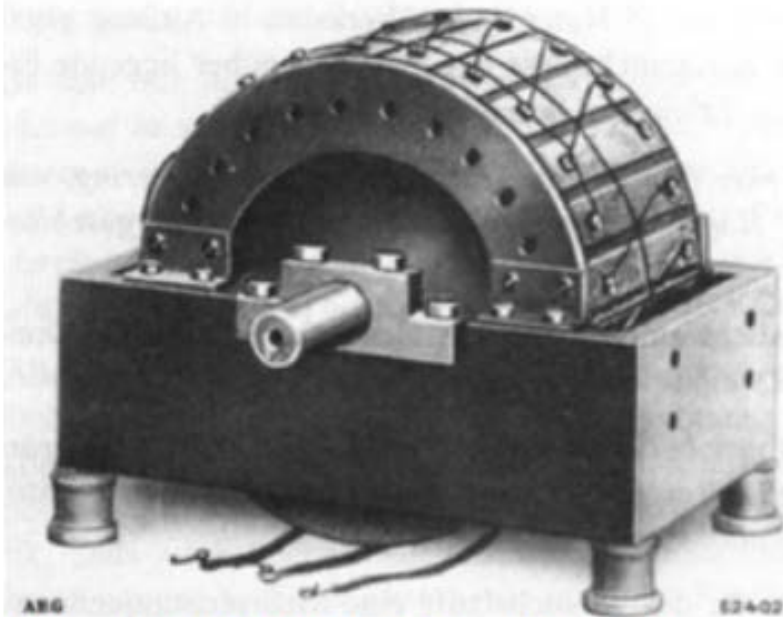


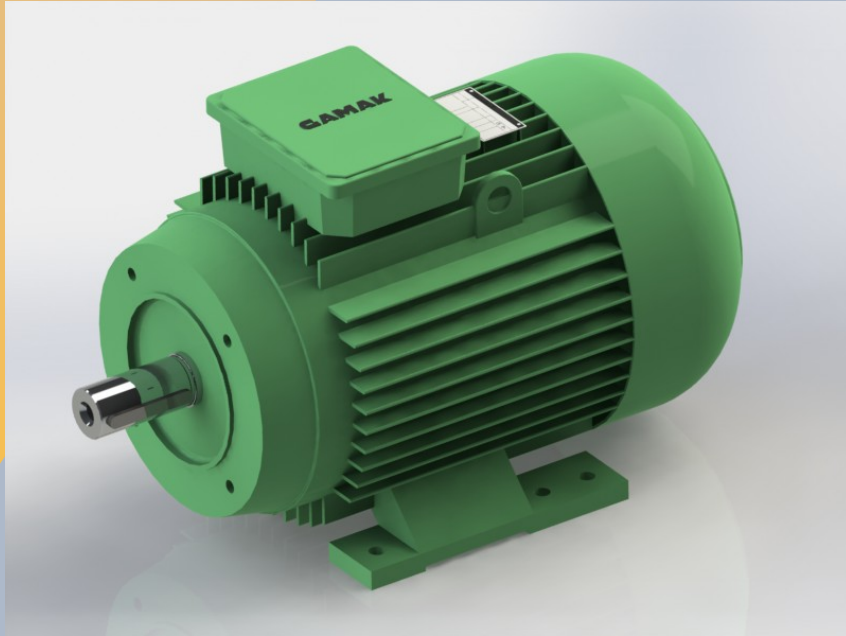
Photo:
Museo di Fisica - Univ. of Cagliari



Dolivo-Dobrowolsky motor (1889)



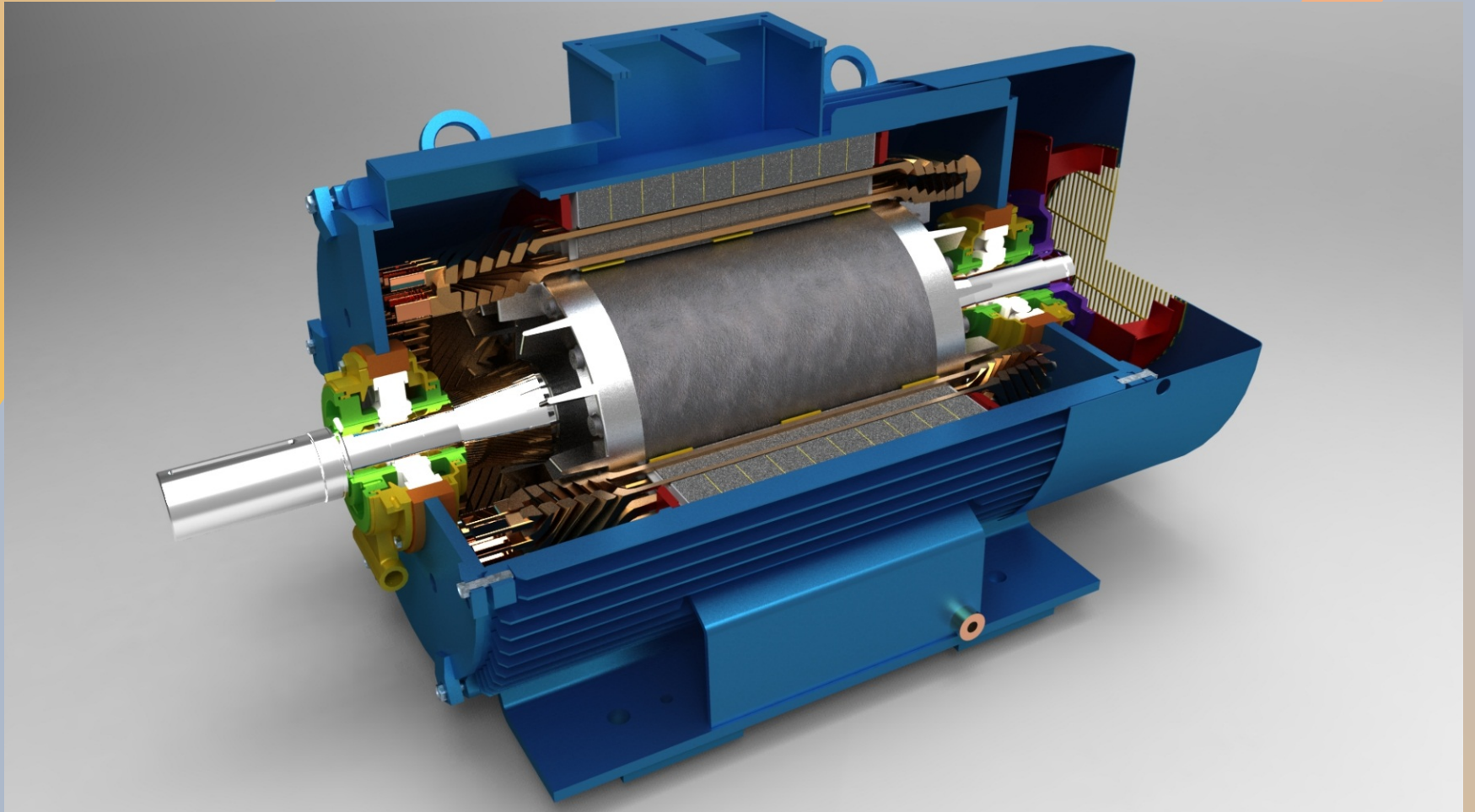
Dolivo-Dobrowolsky's first three-phase cage-induction motor, 1889



Squirrel cage motor

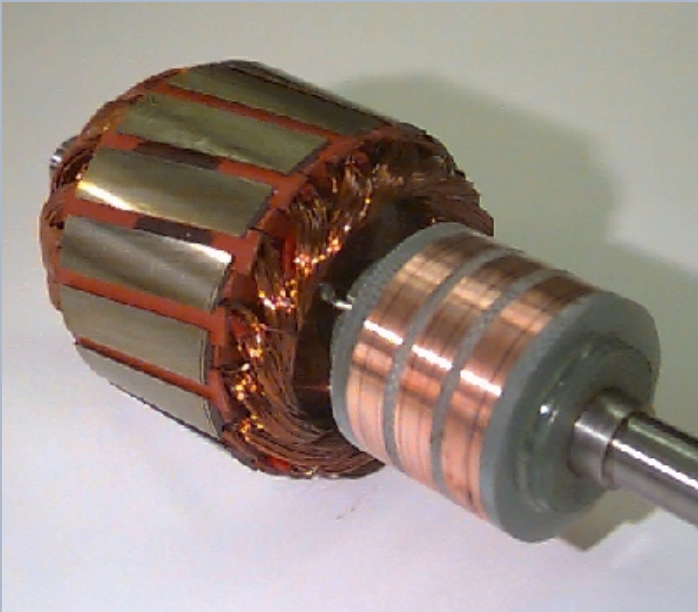
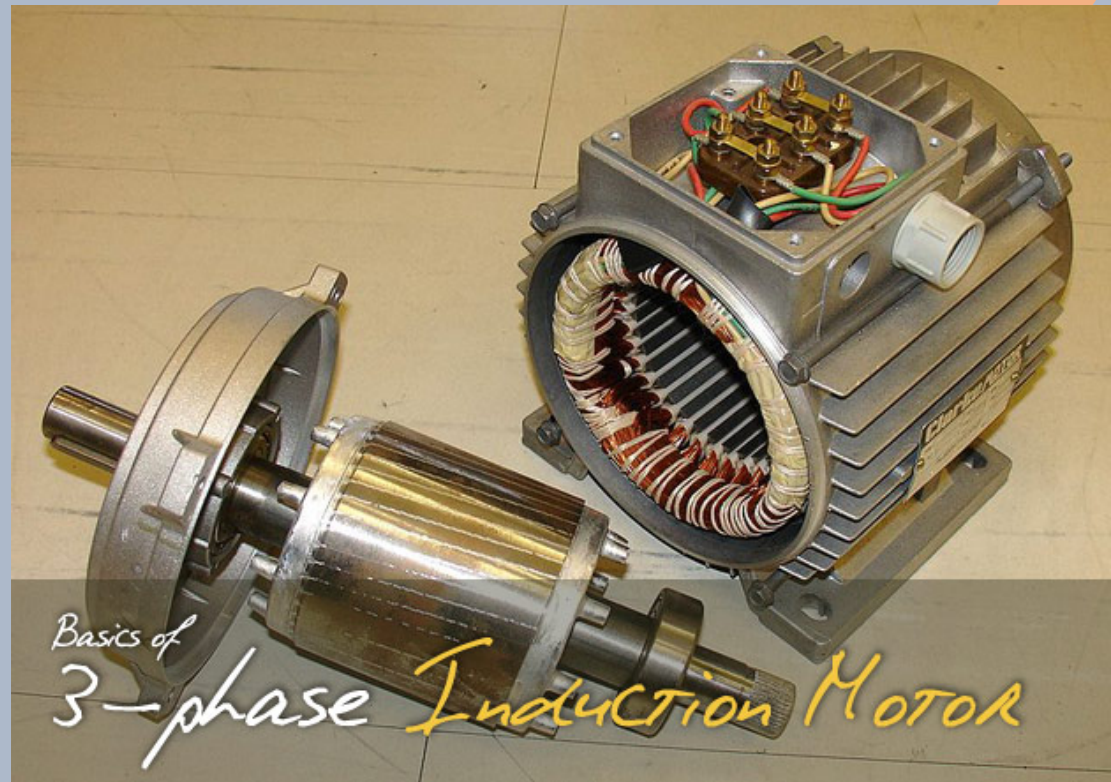


Wound rotor motor

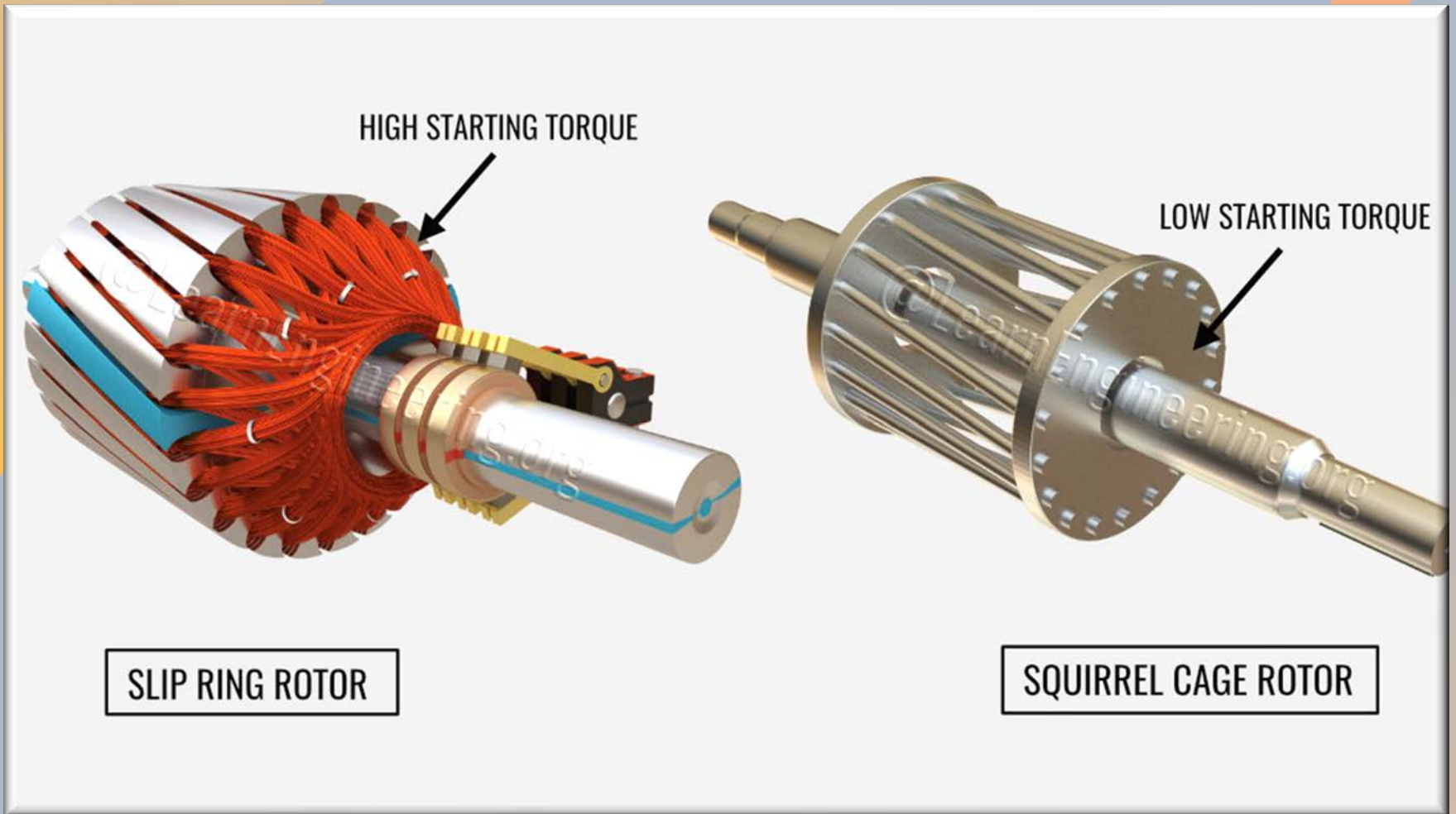


Secțiune prin mașina asincrona cu rotor in sc

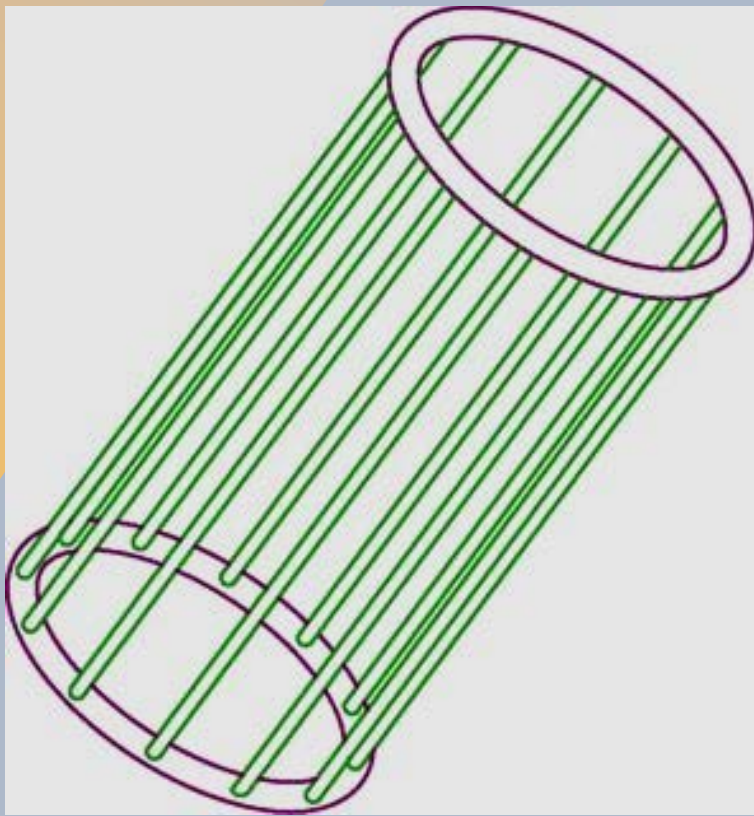
Stator - inductor



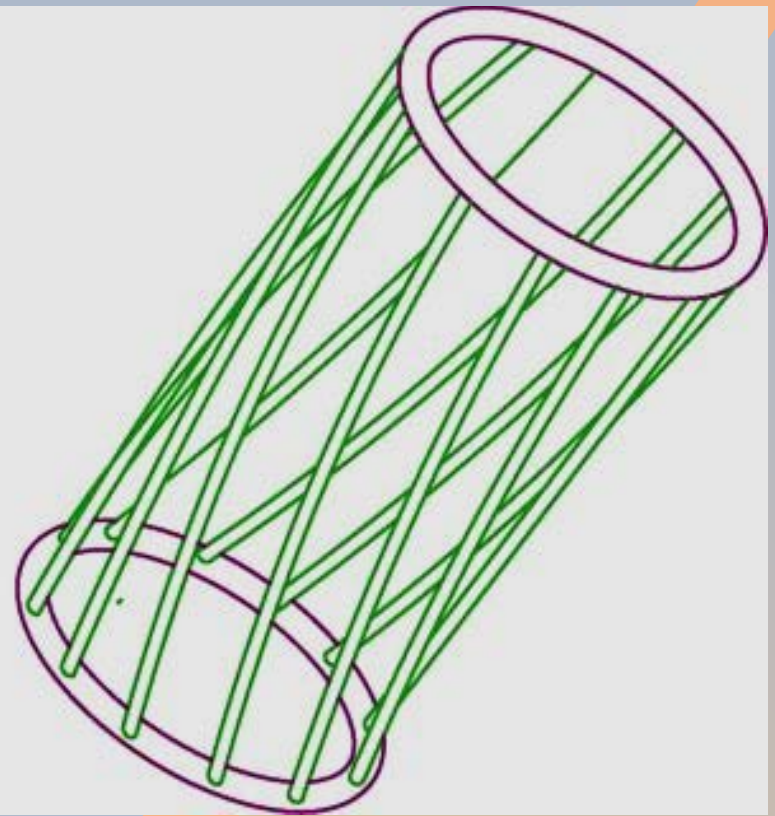
Rotor - indus



Rotoare mașini asincrone: bobinat respectiv in sc



Colivie cu bare drepte



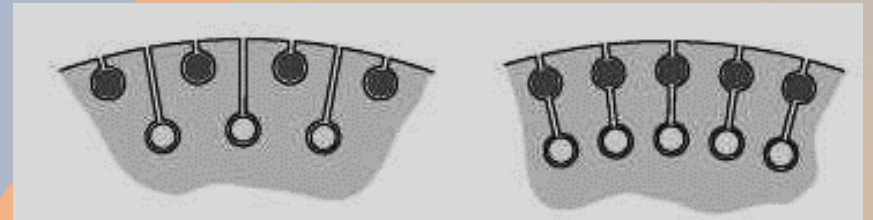
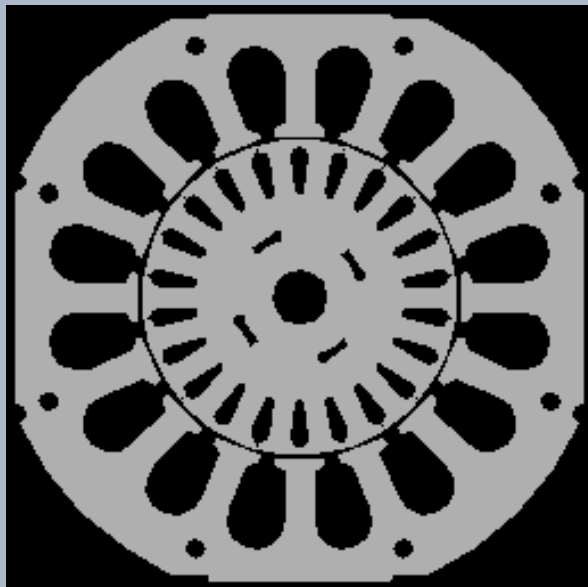
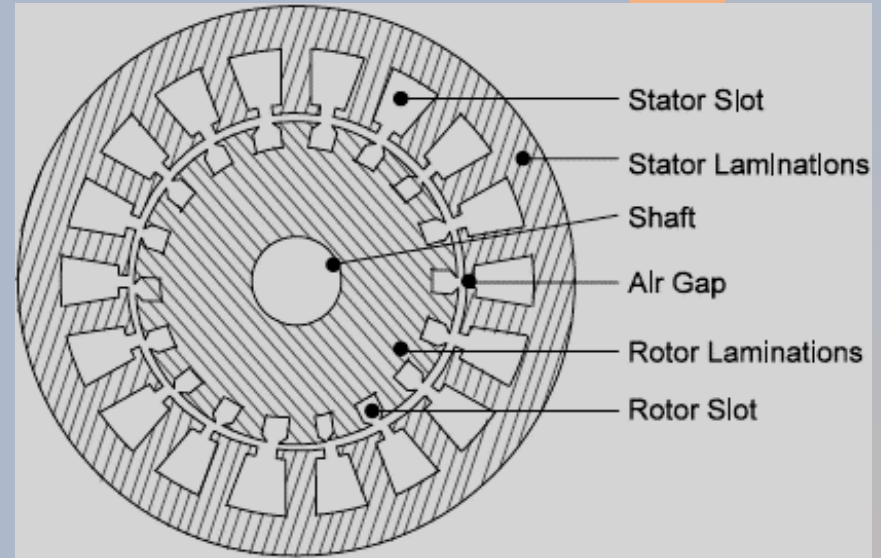
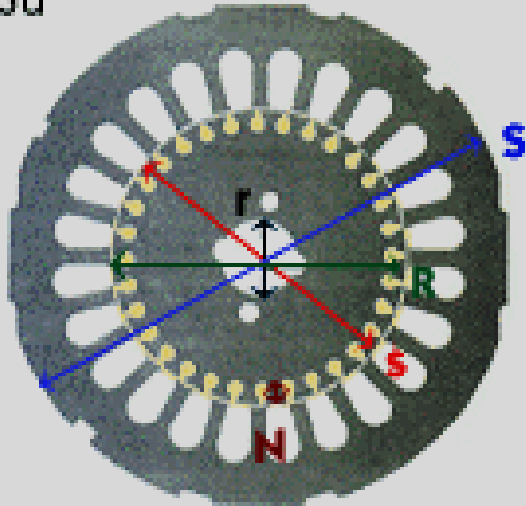
Colivie cu bare inclinate

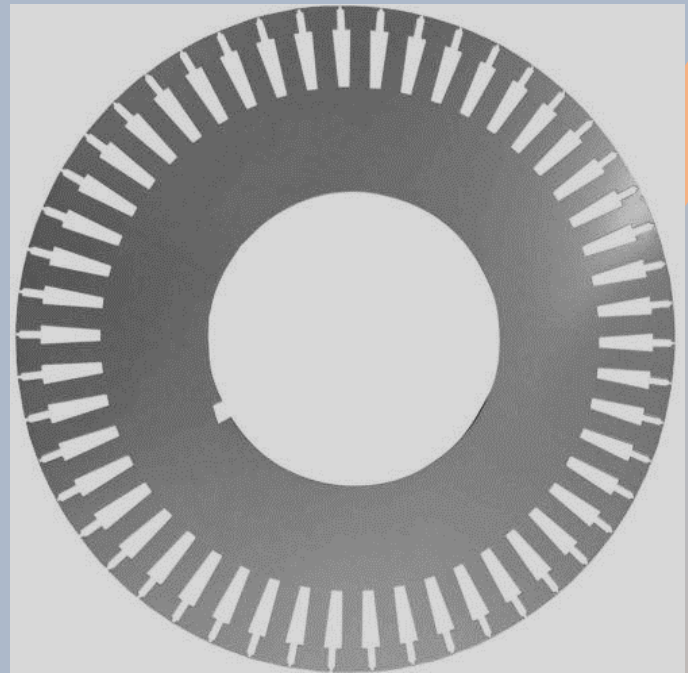


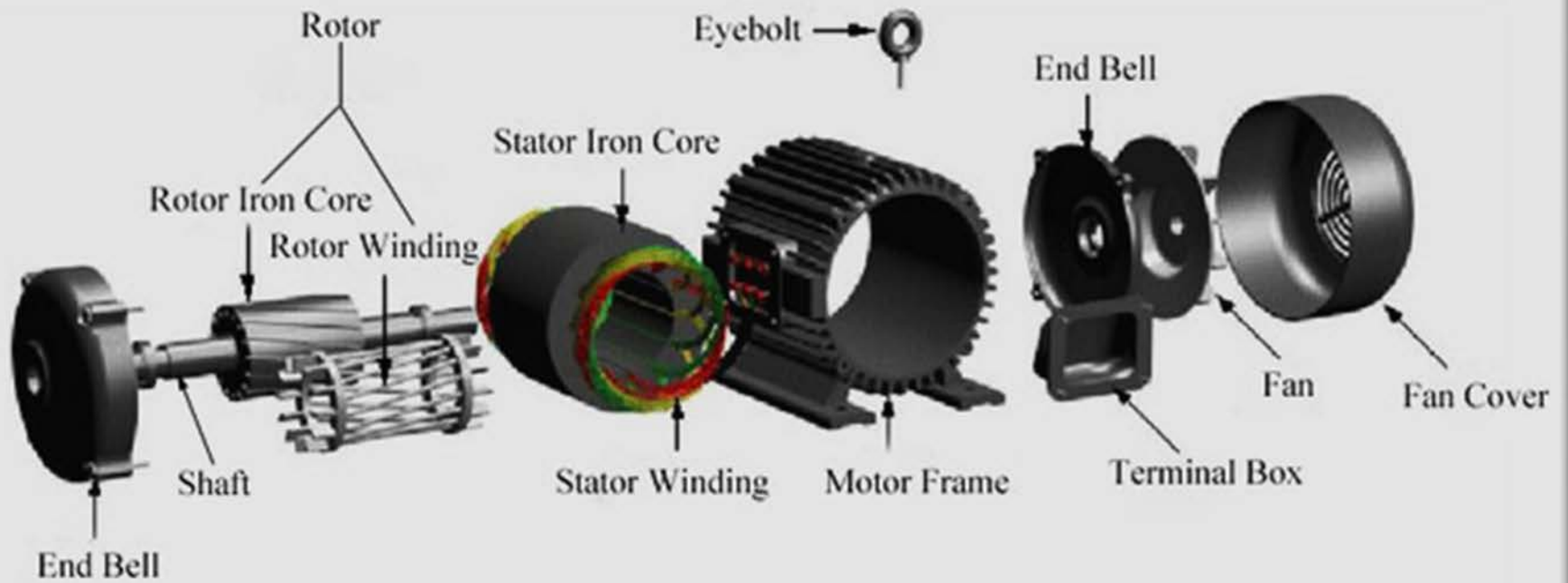
Inclinarea barelor coliviei rotorice are drept scop obținerea în întrefier a unei curbe a inducției magnetice mult mai apropiată de sinusoidă decât în cazul coliviei cu bare drepte.

Structuri de tole statorice si rotorice

□ : S_u



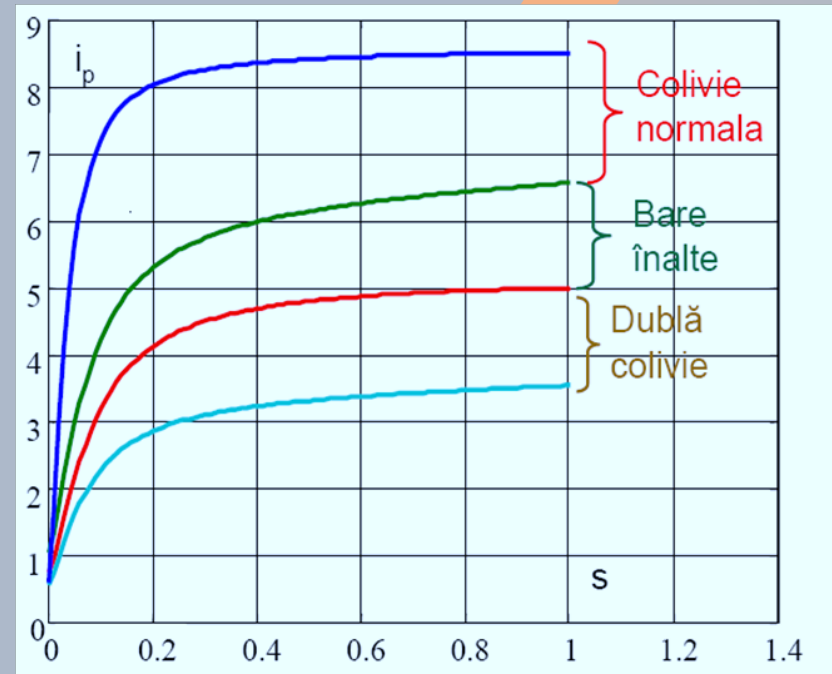
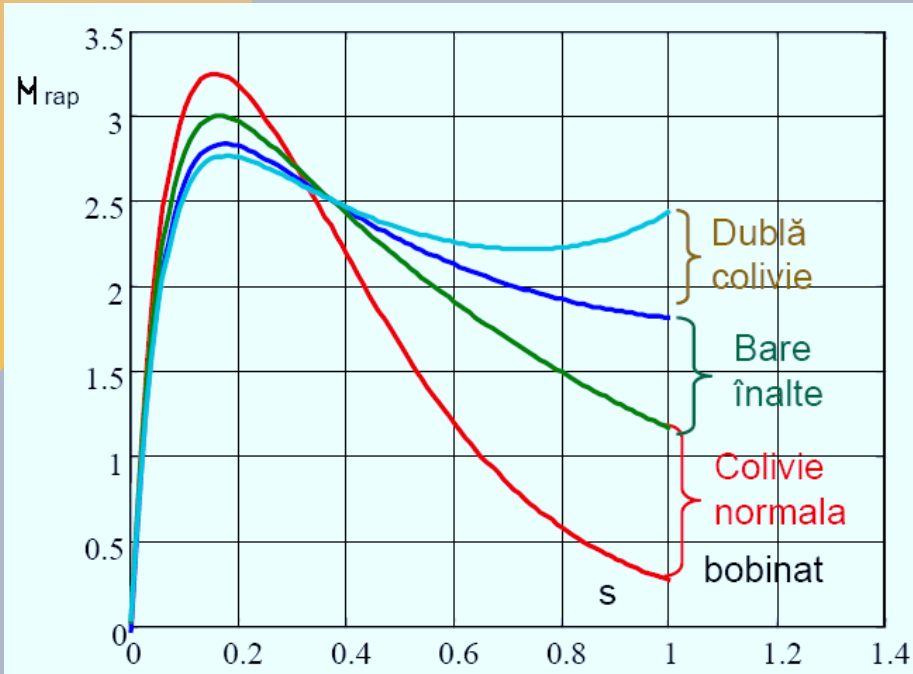




Elementele componente ale unei mașini asincrone

$$M_{rap} = \frac{M_p}{M_N}$$

$$i_p = \frac{I_{SscN}}{I_{SN}}$$



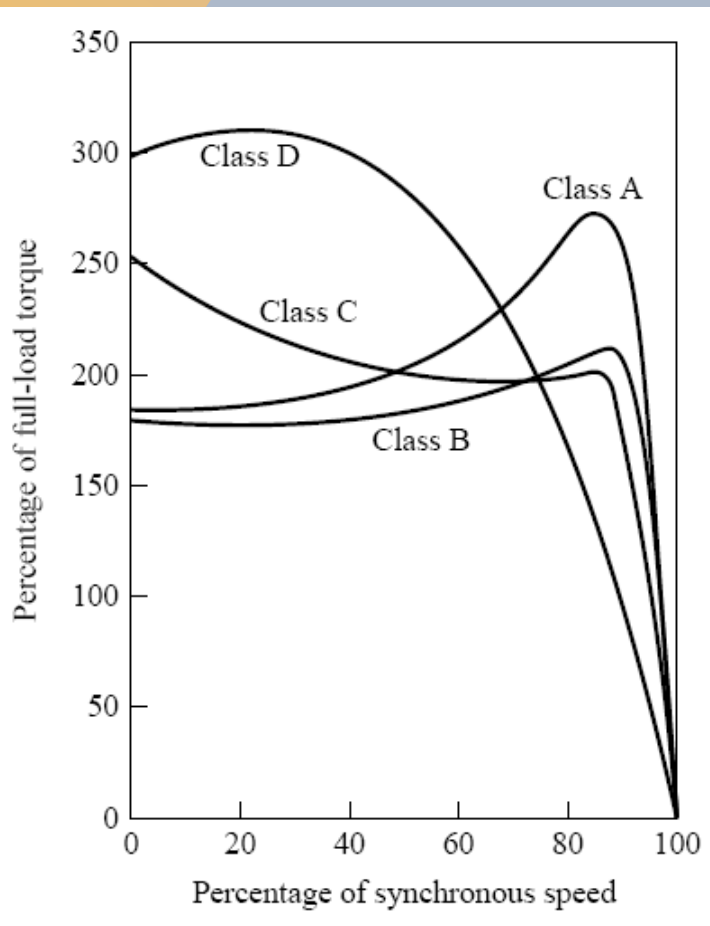
Caracteristica $M=f(s)$ a mașinilor asincrone cu diverse structuri rotorice

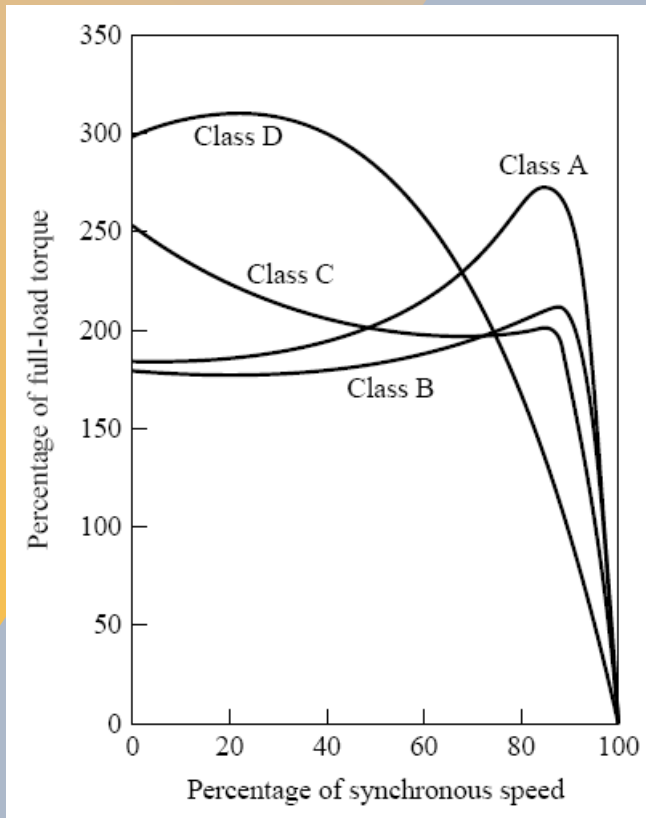
$$M_{max} = \frac{3U_1^2}{2c_1 \cdot \Omega_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_1^2 + (X_{\sigma 1} + c_1 \cdot X'_{\sigma 2})^2 + R_1}} = M_{cr}$$

$$M_p = \frac{3U_1^2 \cdot R'_2}{\Omega_1 \left[\left(R_1 + c_1 \cdot \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_{\sigma 1} + c_1 \cdot X'_{\sigma 2})^2 \right]}$$

$$s_{cr} = \frac{c_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_{\sigma 1} + c_1 \cdot X'_{\sigma 2})^2}}$$

Cele patru clase de motoare au caracteristicile de funcționare influențate de forma și mărimea creștăturii rotorice, adică de rezistența rotorică echivalentă, R'_2 .





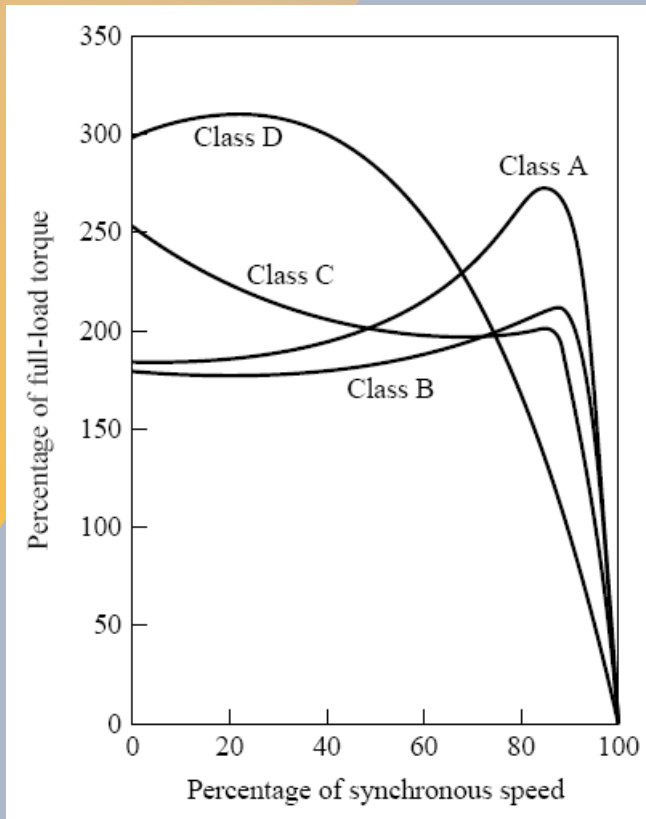
Clasa A

Caracterizează motoarele standard având valori normale ale cuplului de pornire și a curentului de pornire și funcționare la alunecări mici. Valoarea alunecării la funcționarea în sarcină nominală este sub 5%, adică sub cea a motoarelor din clasa B.

Cuplul maxim este între $(2-3)M_n$ iar alunecarea critică apare sub valoarea de 0,2.

Cuplul de pornire are cel puțin valoarea celui nominal în cazul motoarelor mari, iar în cazul motoarelor mici este de cel puțin două ori mai mare. Principala problemă a acestor motoare este curentul foarte mare la pornire. În mod uzual curentul de pornire este de 5-8 ori mai mare decât curentul nominal.

Până în ultimii ani motoare cu caracteristicile acestei clase erau proiectate pentru aplicații sub 5 Kw și peste 180 Kw, dar în ultima vreme acestea au fost înlocuite cu motoare caracteristice clasei B. Aplicațiile tipice pentru aceste motoare sunt: ventilatoare, suflante, pompe, strunguri sau alte mașini unelte.

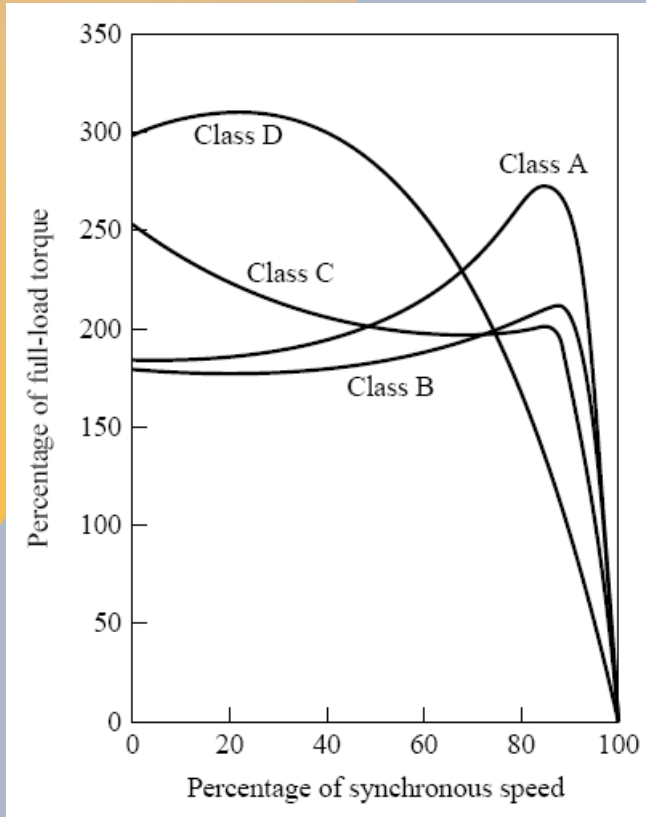


Clasa B

Motoarele din această clasă au un cuplu de pornire normal un curent de pornire scăzut și o funcționare la o alunecare mică.

Aceste motoare produc cam același cuplu de pornire cu cele din clasa A, dar cu aproximativ 20% mai puțin curent. Cuplul maxim este în jur de 2Mn, deci mai mic decât al motoarelor din clasa A datorită reactanței rotorice mărite. Alunecarea nominală este relativ scăzută sub 5%.

Aplicațiile tipice pentru motoarele din clasa A, dar ele sunt preferate datorită curentului mai mic la pornire.



Clasa C

Motoarele din această clasă au un cuplu de pornire mare, curent de pornire mic, iar funcționarea în sarcină are loc la alunecări sub 5%. Cuplul maxim este ușor mai mic decât la motoarele din clasa A, în timp ce cuplul de pornire este mai mare de 2.5Mn.

Aceste caracteristici ale clasei C sunt obținute cu motoare cu dublă colivie, deci motoare mai scumpe decât cele din clasele anterioare.

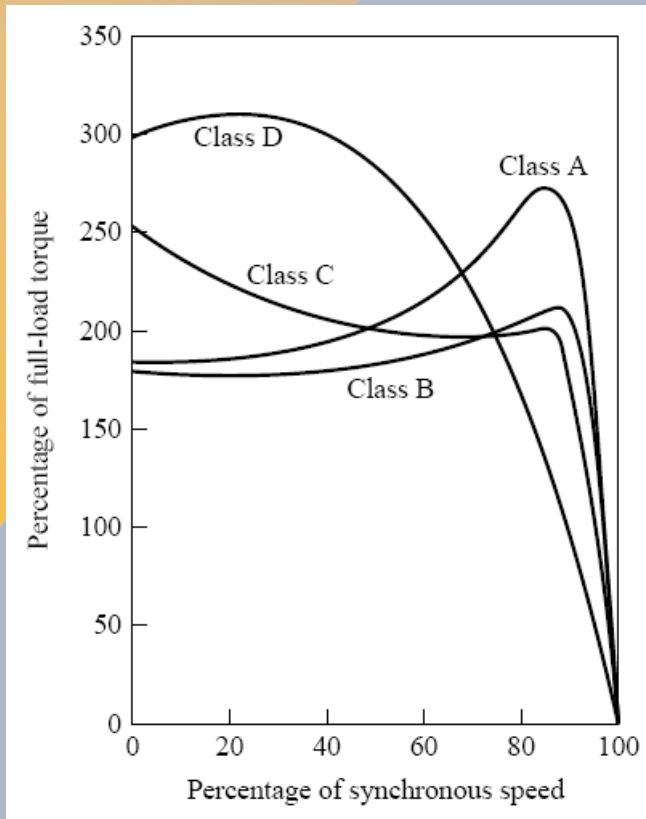
Sunt utilizate în aplicații care necesită cuplu mare de pornire în sarcină, ca de exemplu: pompe, compresoare, conveiere.

Clasa D

Motoarele din aceasta clasă au cuplu de pornire foarte mare, de regulă peste $2.75Mn$ și un curent de pornire mic, au de asemenea o alunecare nominală mare. În principiu sunt similare motoarelor din clasa A dar au barele rotorului mai mici și din materiale cu rezistență mai mare. Rezistența rotorică mare deplasează valoarea cuplului maxim spre valori mici ale vitezei, posibil chiar la $s=1$.

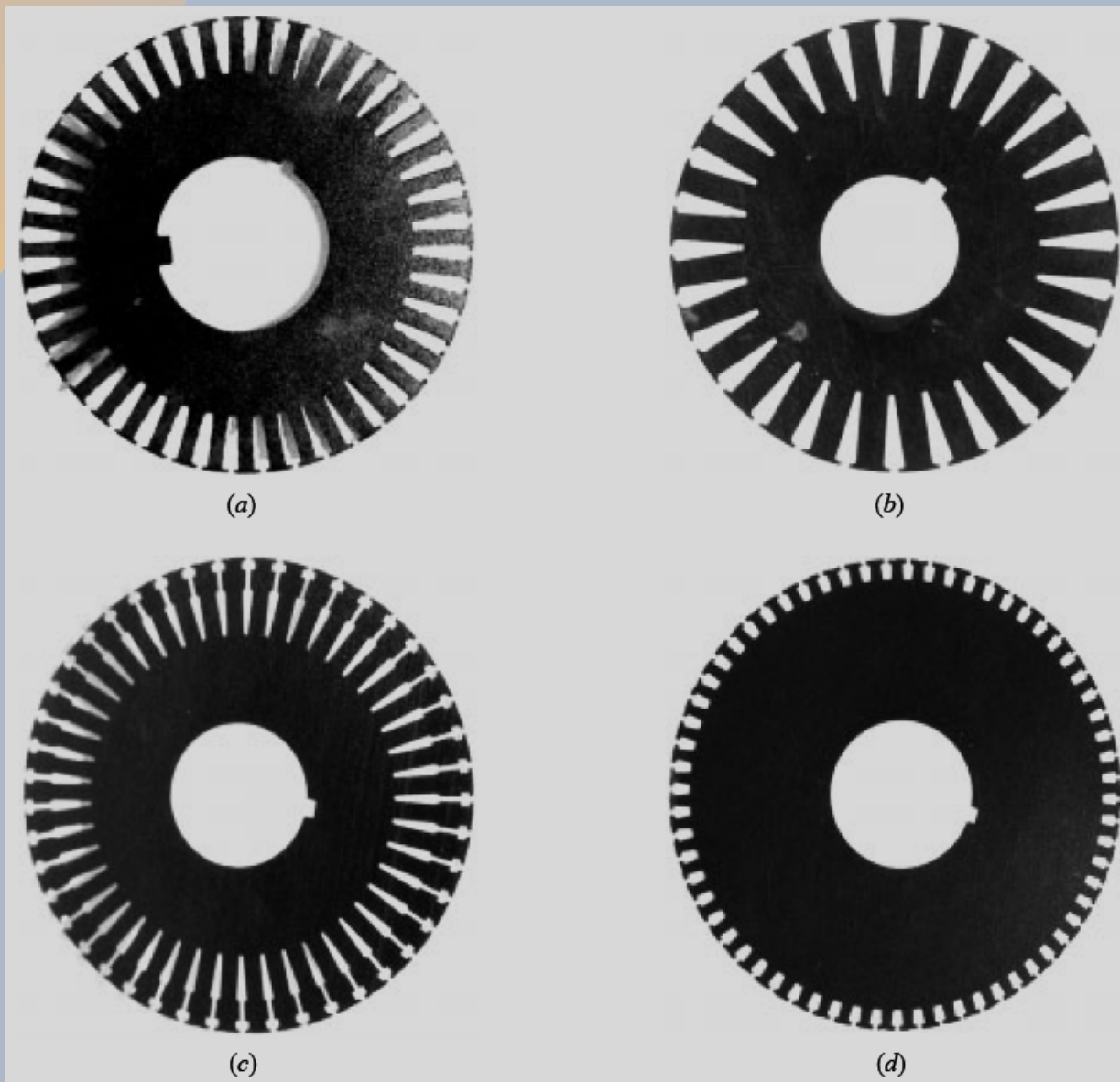
Alunecarea nominală a acestor motoare este destul de ridicată de regulă între $0.07-0.11$, dar se poate ridica și până la 0.17 . De regulă aceste motoare sunt utilizate în acele aplicații ce necesită accelerarea unor sarcini cu inerție foarte mare, adică volanți de mari dimensiuni utilizați la prese sau foarfeci.

În aceste aplicații motoarele accelerează gradual un volant de dimensiuni mari până la viteza nominală care după aceea acționează brațul de lovire. După lovire motorul reaccelerează volantul într-o perioadă de timp suficient de lungă pentru realizarea următoarei loviri.

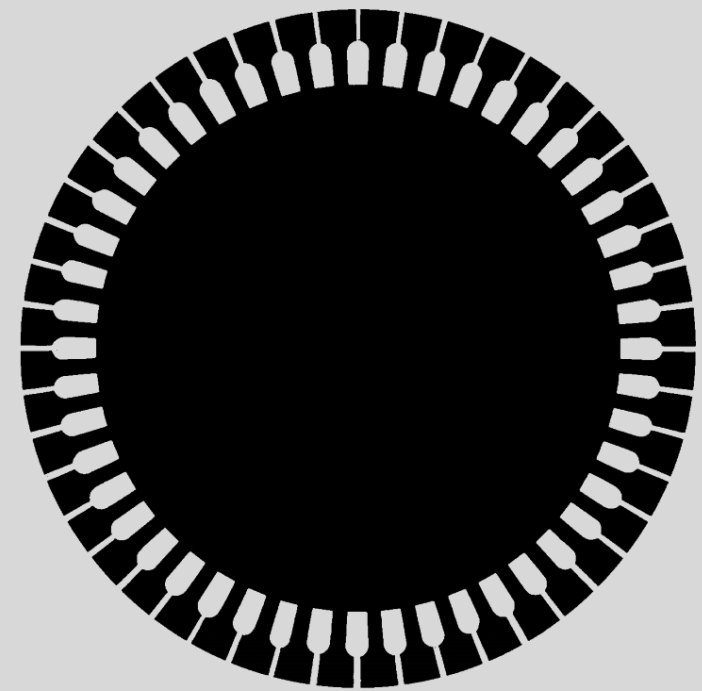
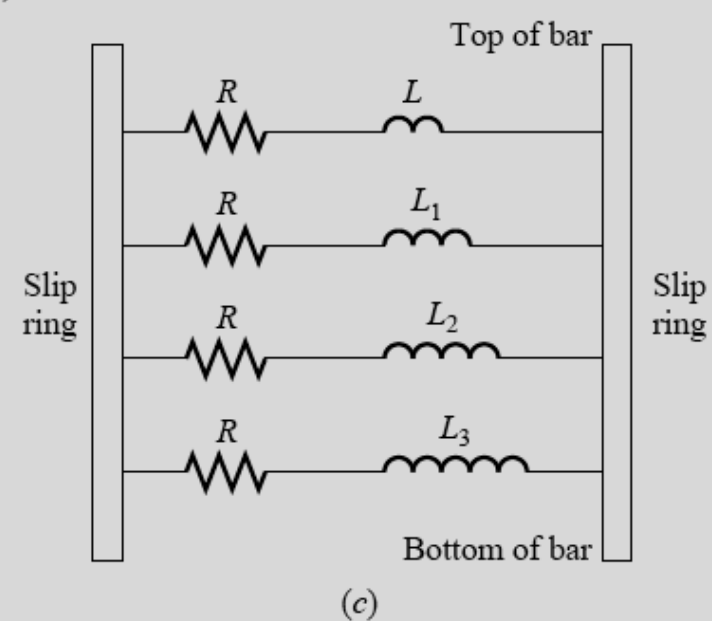
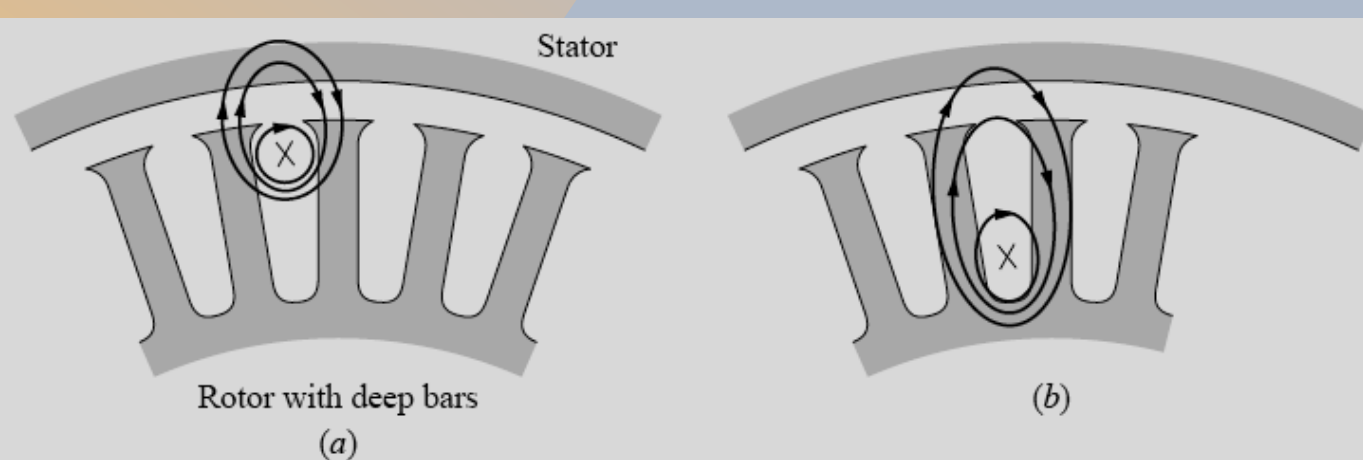


	s_n	M_p	I_p	M_m	s_m
Clasa A	$< 6 \%$	$\leq M_n$ $\leq 2 M_n$	$5 \div 8 I_n$	$2 \div 3 M_n$	$< 20 \%$
Clasa B	$< 5 \%$	$\leq M_n$ $\leq 2 M_n$	$4 \div 6 I_n$	$\leq 2 M_n$	$< 20 \%$
Clasa C	$< 5 \%$	$2 \div 2,8 M_n$	$\leq 5,5 I_n$	$2 \div 2,5 M_n$	$< 20 \%$
Clasa D	$> 5 \%$	$\geq 2,75 M_n$	mare	$\approx M_p$	mare

Valori specifice de cuplu si alunecare



Tipuri de tole rotorice caracteristice claselor de funcționare

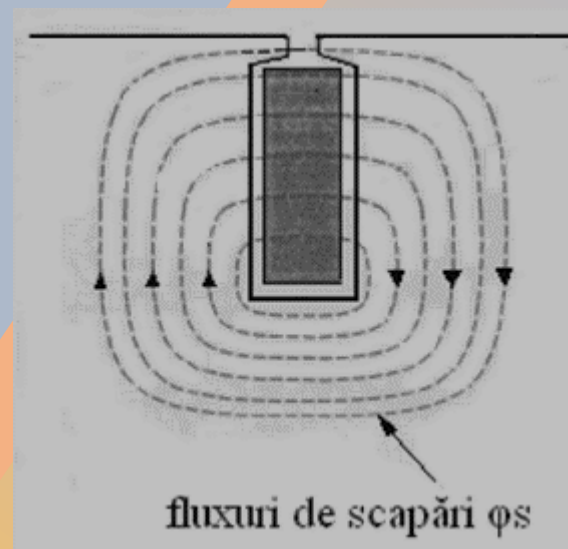
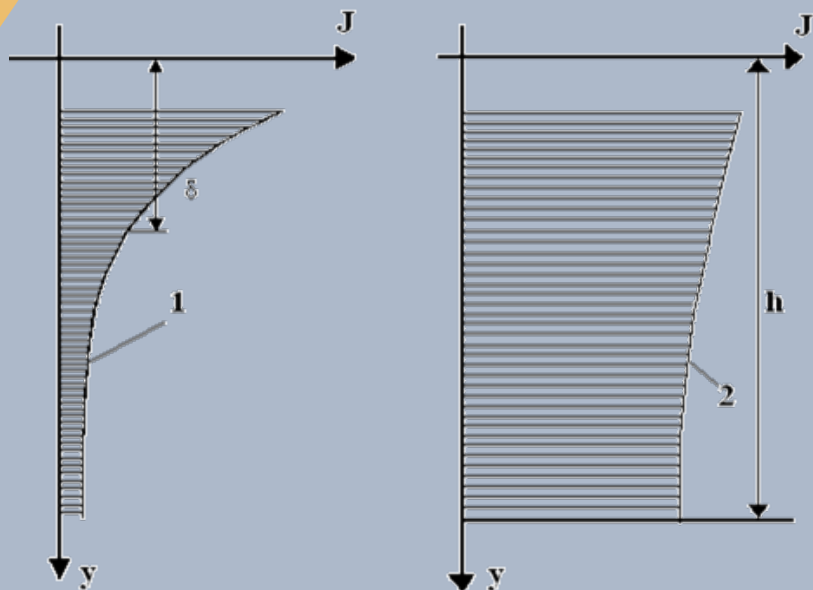


**Fenomenul de refulare a curentului la pornire
 caracteristic mașinilor cu bare înalte sau
 colivie dubla**

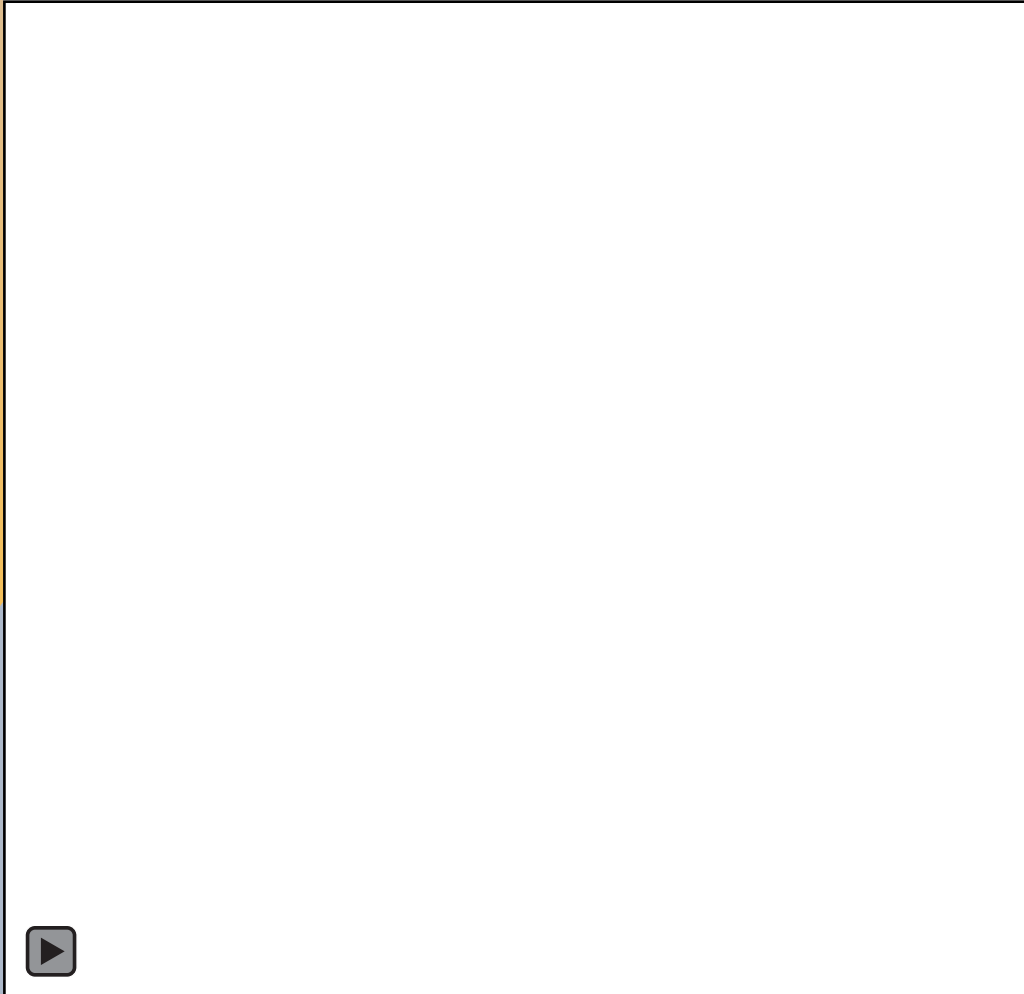
Când sunt parcurse de curenți, barele rotorice creează fluxuri de scăpări care se închid în jurul conductoarelor elementare.

Pentru mașina cu rotor cu bare înalte, rezistența echivalentă a barelor, deci a rotorului, crește iar reactanța de scăpări scade datorită dimensiunilor (h și b) barei, precum și datorită valorii frecvenței curentului rotoric.

$$hc/bc > 4$$



Dependențele $J(y)$ pentru $f = 50$ Hz, respectiv 2Hz.



Color Shade Results

Quantity : |Current density| A/(square mm)

Slip : 0,99 Pos (deg): 0 Phase (Deg): 0

Scale / Color

3,5 / 7,03125

7,03125 / 10,5625

10,5625 / 14,09375

14,09375 / 17,625

17,625 / 21,15625

21,15625 / 24,6875

24,6875 / 28,21875

28,21875 / 31,75

31,75 / 35,28125

35,28125 / 38,8125

38,8125 / 42,34375

42,34375 / 45,875

45,875 / 49,40625

49,40625 / 52,9375

52,9375 / 56,46875

56,46875 / 60

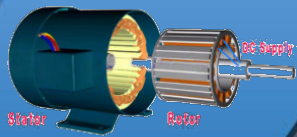


Variația densității de curent in barele rotorice de la pornire până la funcționarea in gol; $s=(0.99-0.03)$

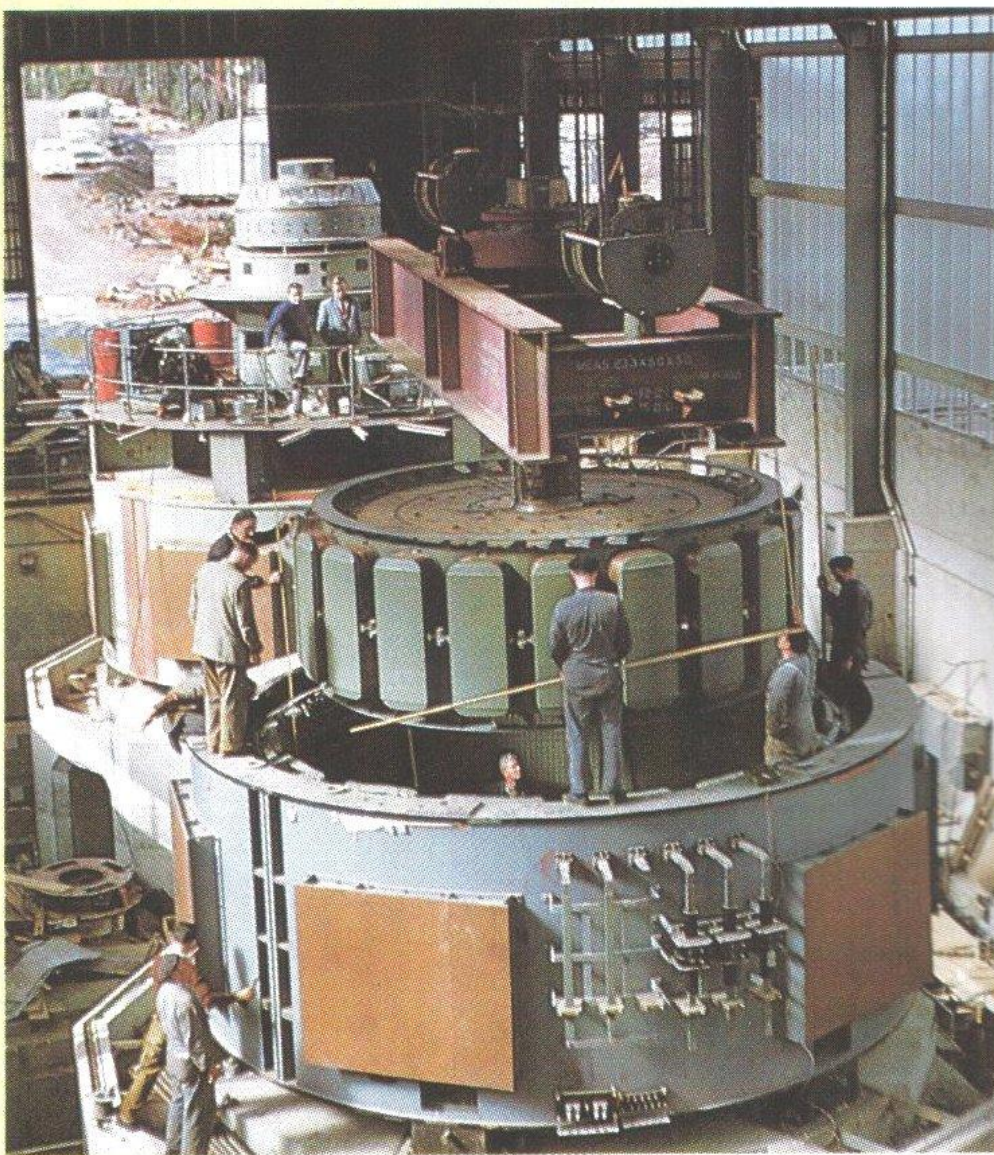
3

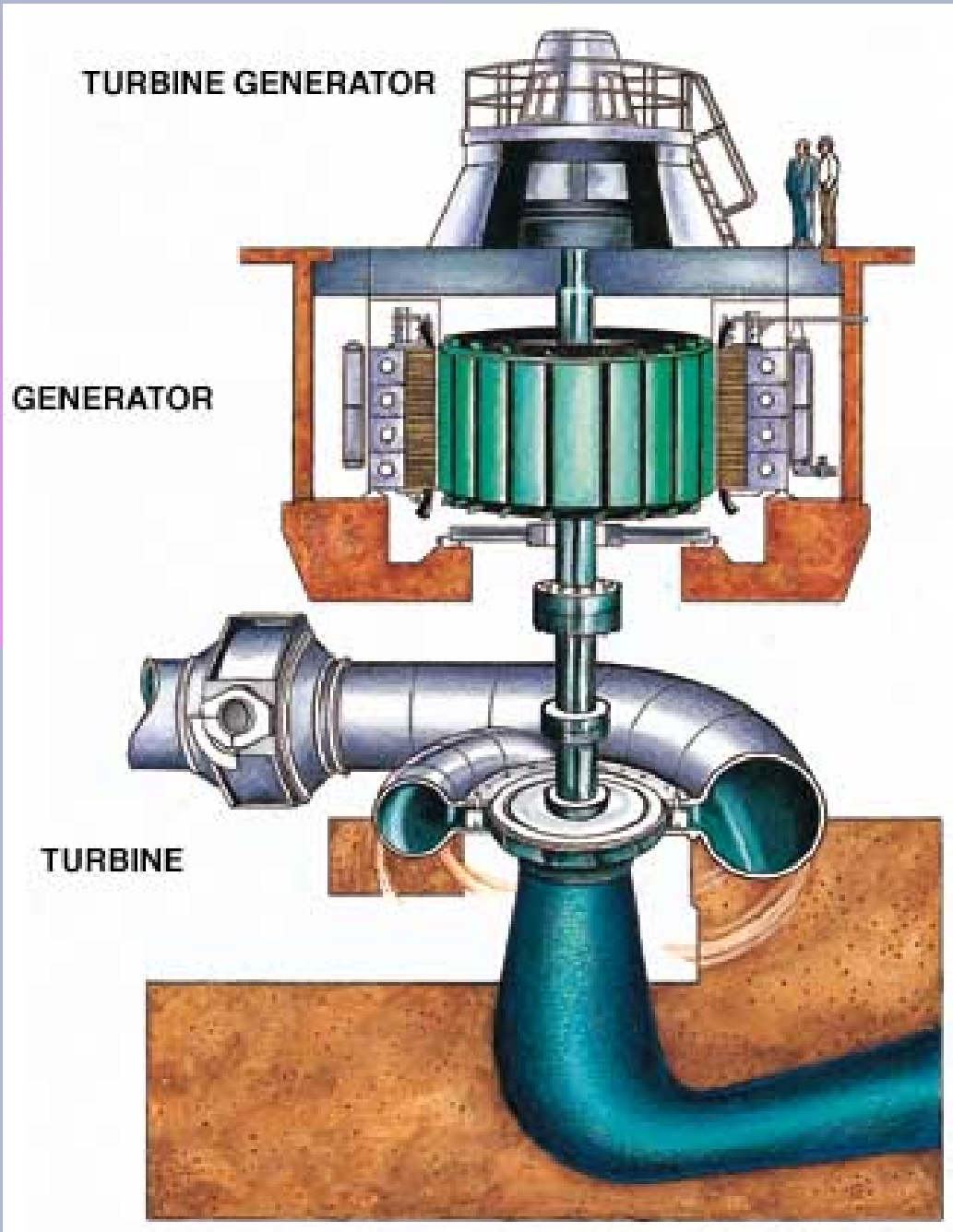
Mașini sincrone

Particularități, avantaje, dezavantaje.



HIDROGENERATOARE





Structura unui sistem cu hidrogenerator

Tipuri de turbine utilizate cu hidrogenatoare

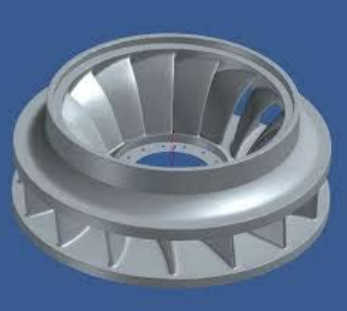
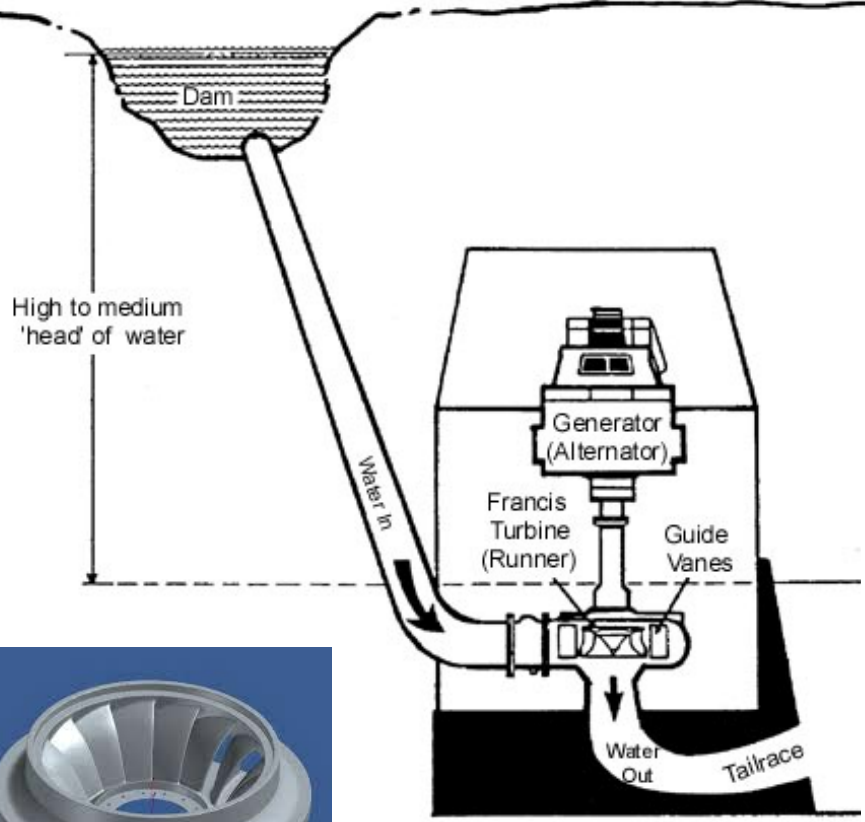
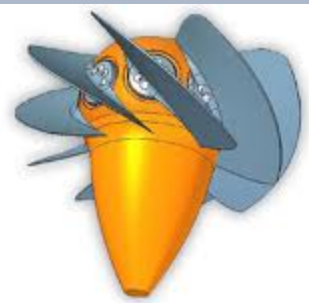
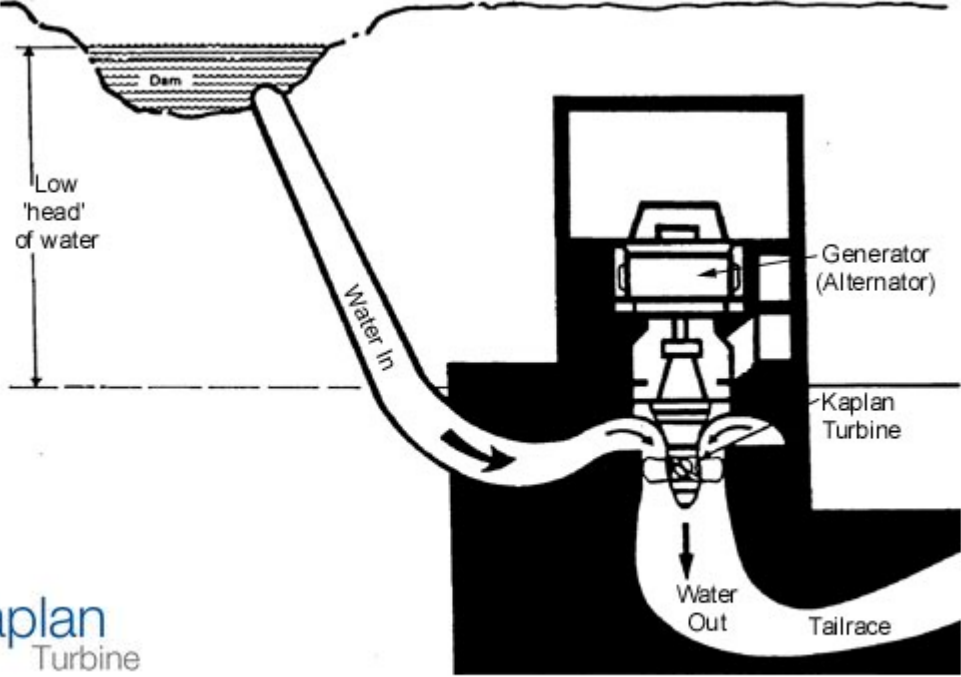


Figure 4 Francis water turbine
Copyright Western Power Corporation



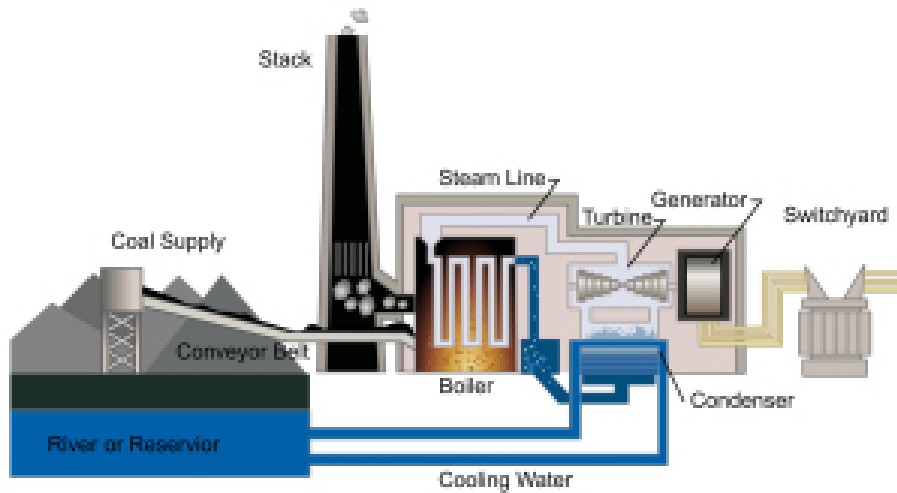
Kaplan Turbine

Figure 5 Kaplan and propeller type turbine
Copyright Western Power Corporation

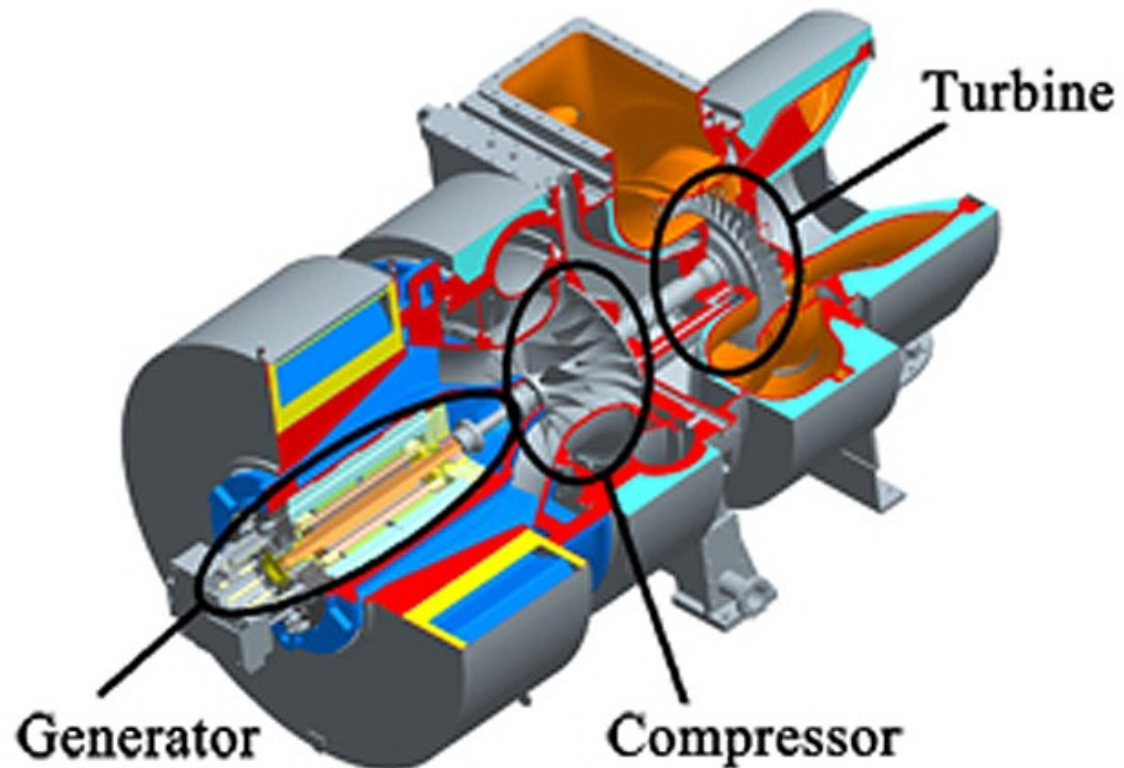
TURBOGENERATOARE

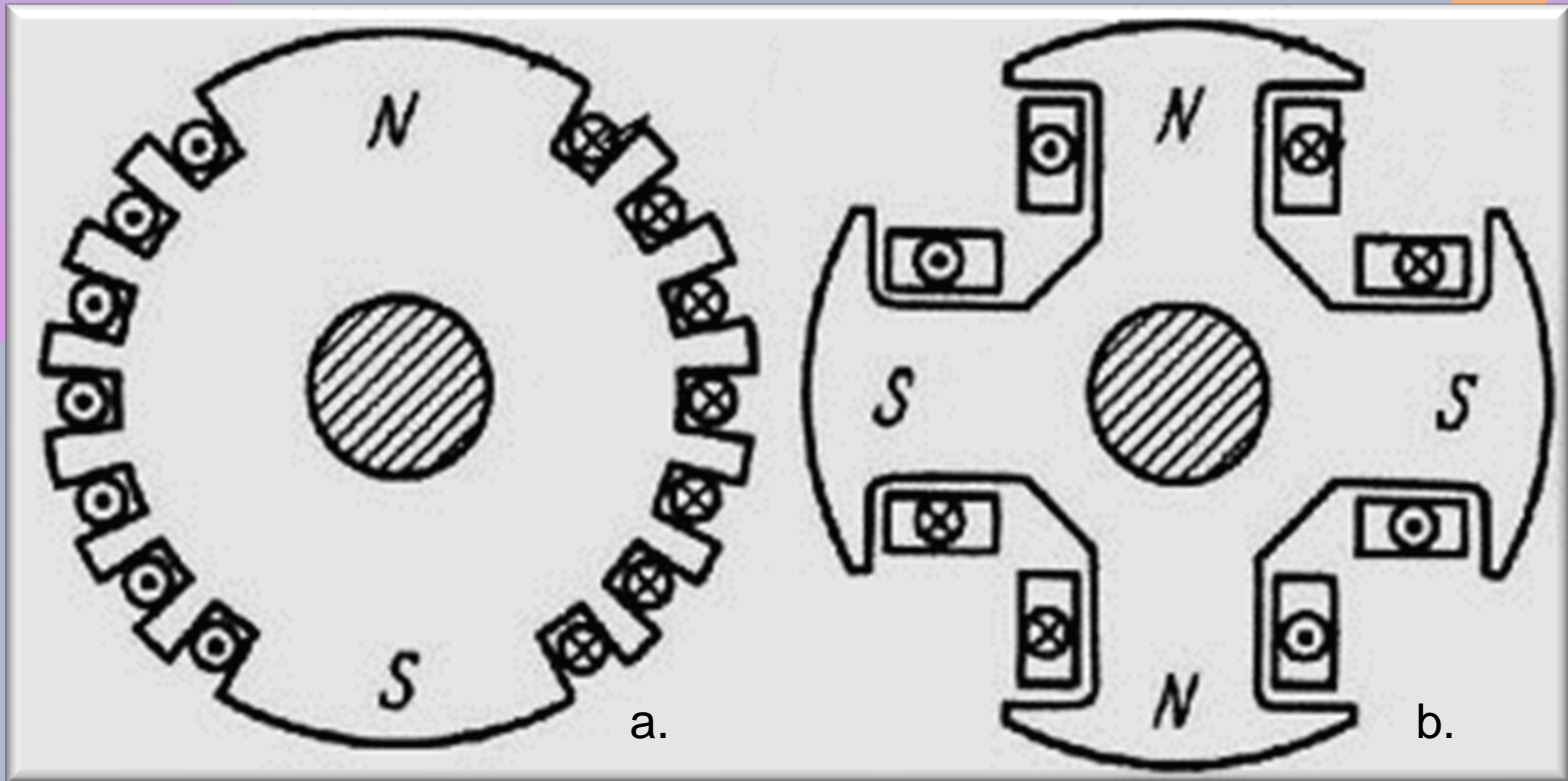


Example: Coal Fired Power Plant



Structura unui sistem cu turbogenerator





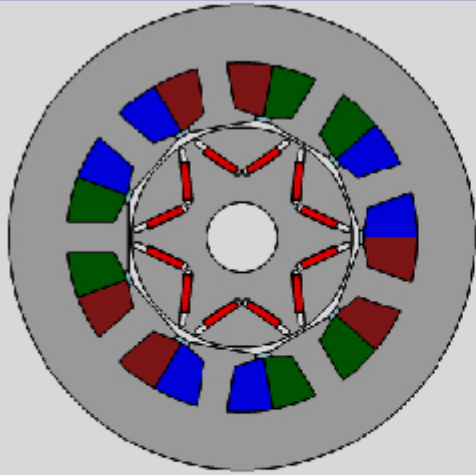
Tipuri de rotoare de mașini sincrone cu excitație electromagnetică
a – cu poli înecați; b – cu poli aparenti



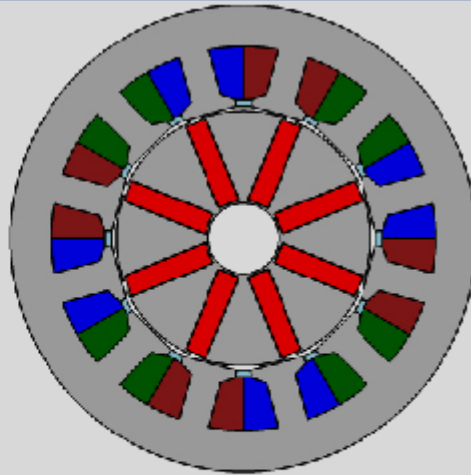
Rotor de mașină sincronă cu poli aparenti



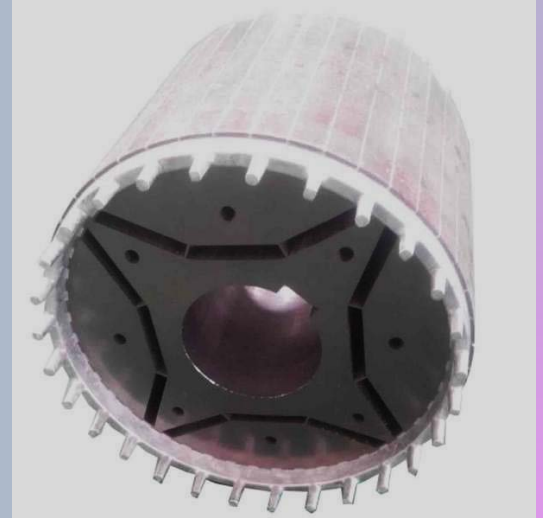
Rotor de mașină sincronă cu poli înecați



(a) VPMSM with NdFeB-magnets



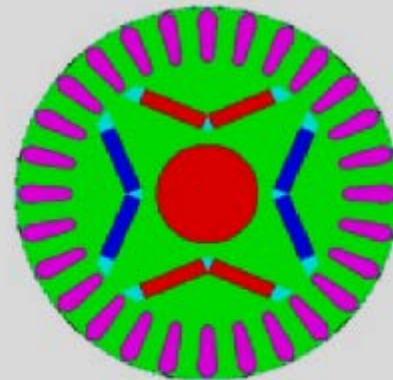
(b) Spoke-type PMSM with Fe-magnets



(a)



(b)



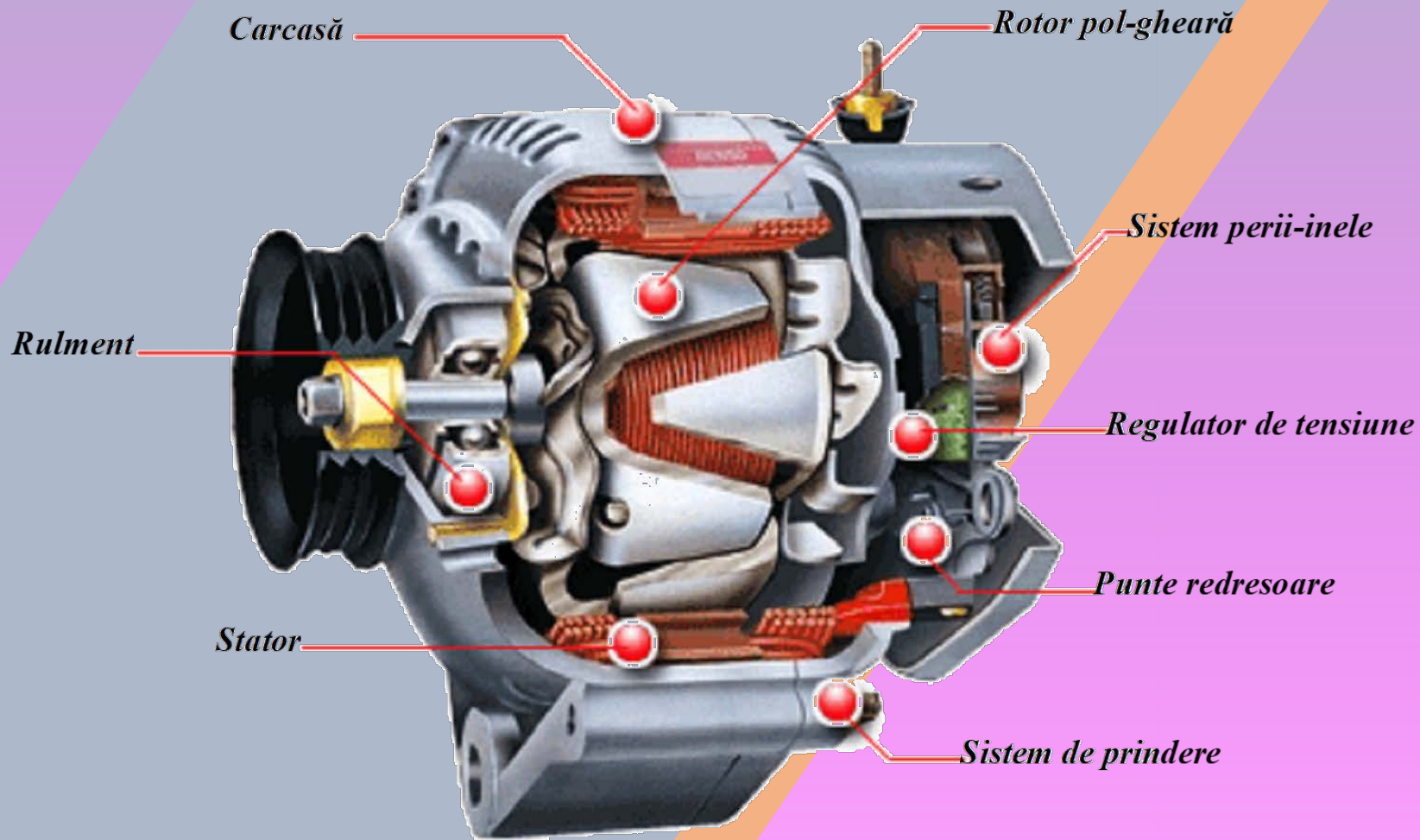
(c)



Fig. 1. Different models of LSPMMs. (a) Radius type, (b) radial type,

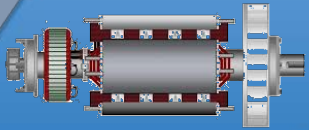
Rotoare de mașini sincrone cu excitație cu magneți permanenți

MAȘINĂ SINCRONĂ CU POLI GHEARĂ

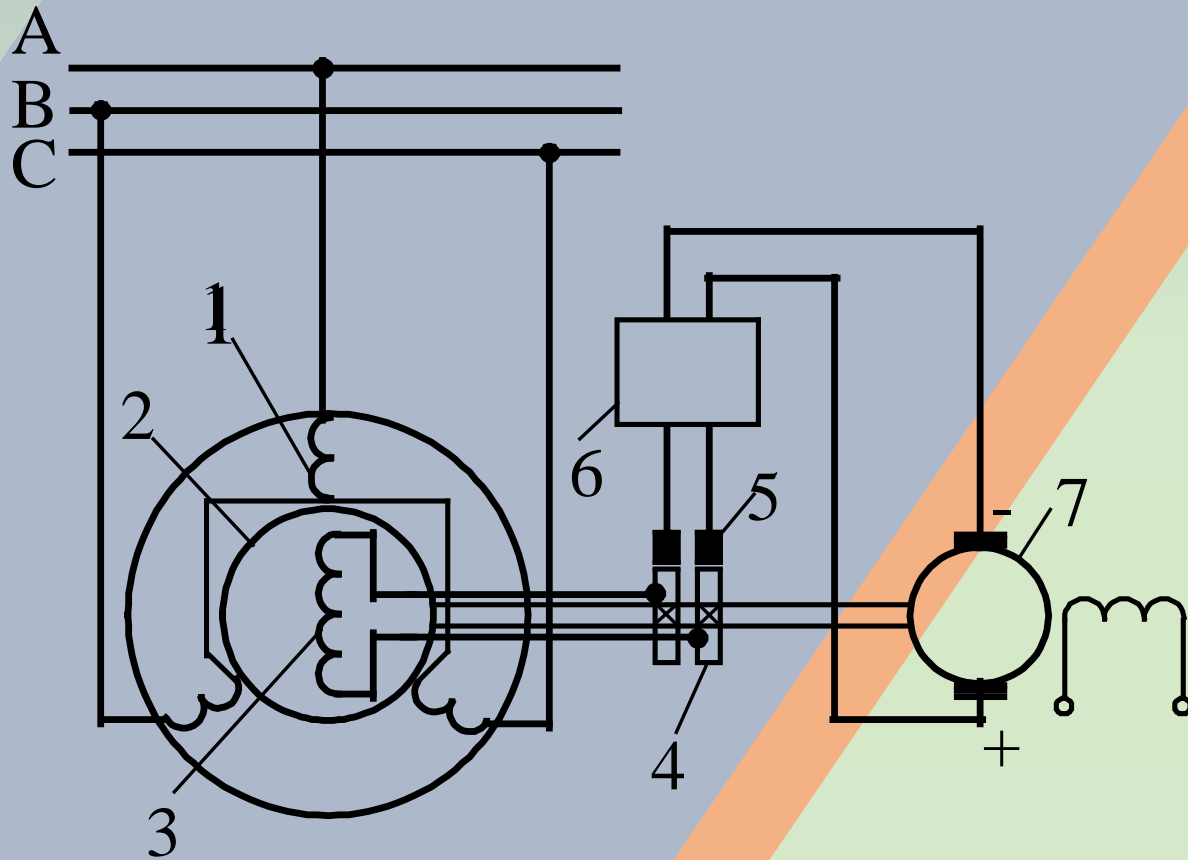


4

Sisteme de excitație la mașinile sincrone

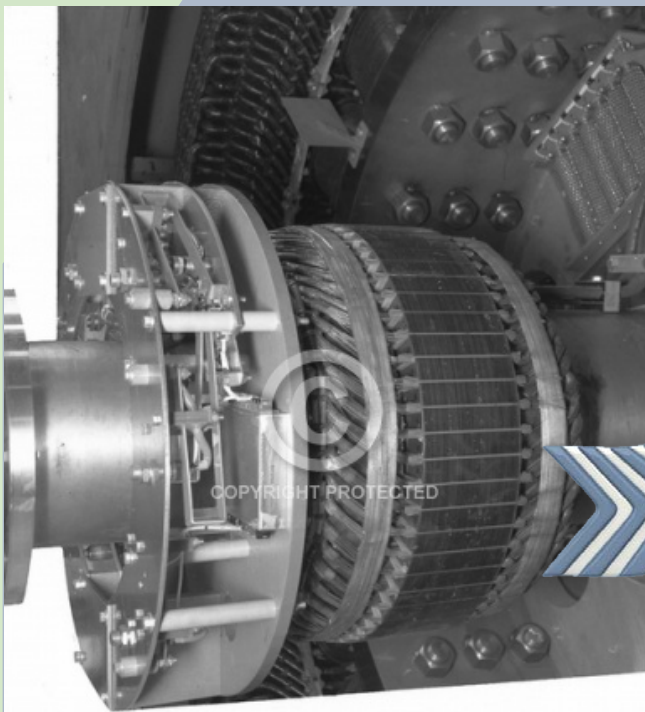
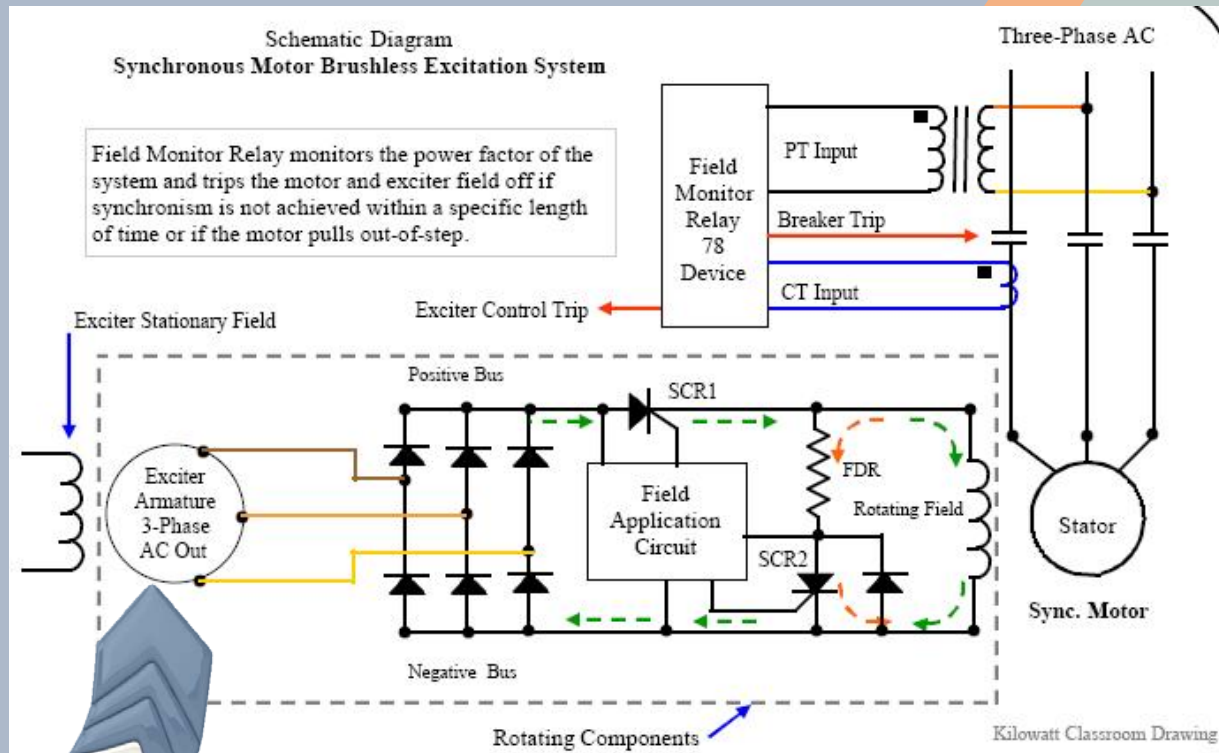


Sistem de excitație cu excitatrice (generator de c.c.)

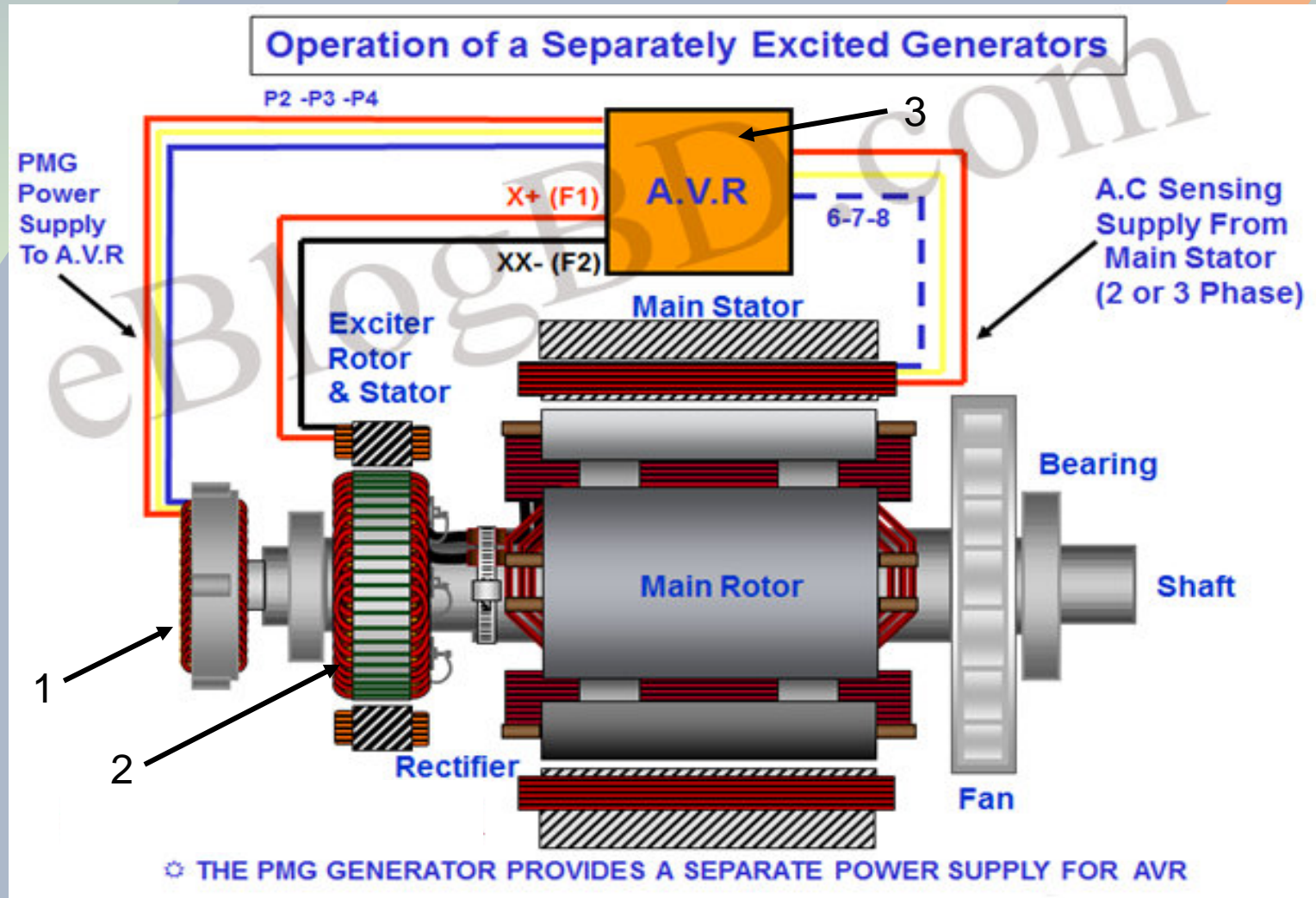


1.Înfășurare statorică, 2. Rotor generator sincron, 3. Înfășurare de excitație, 4. Inele rotorice, 5. Perii, 6. Regulator de tensiune, 7. Excitatoare

Sistem de excitație cu mașină sincronă în construcție inversată și punte redresoare

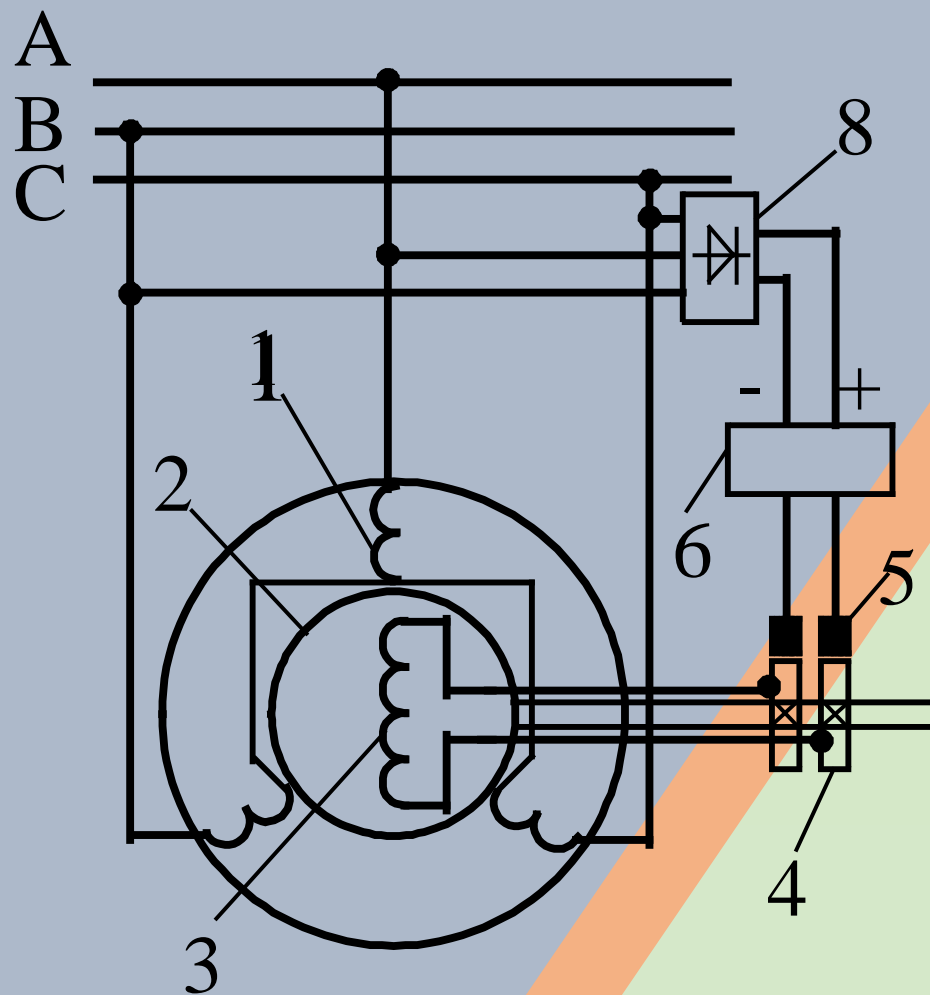


Sistem de excitație cu două mașini sincrone



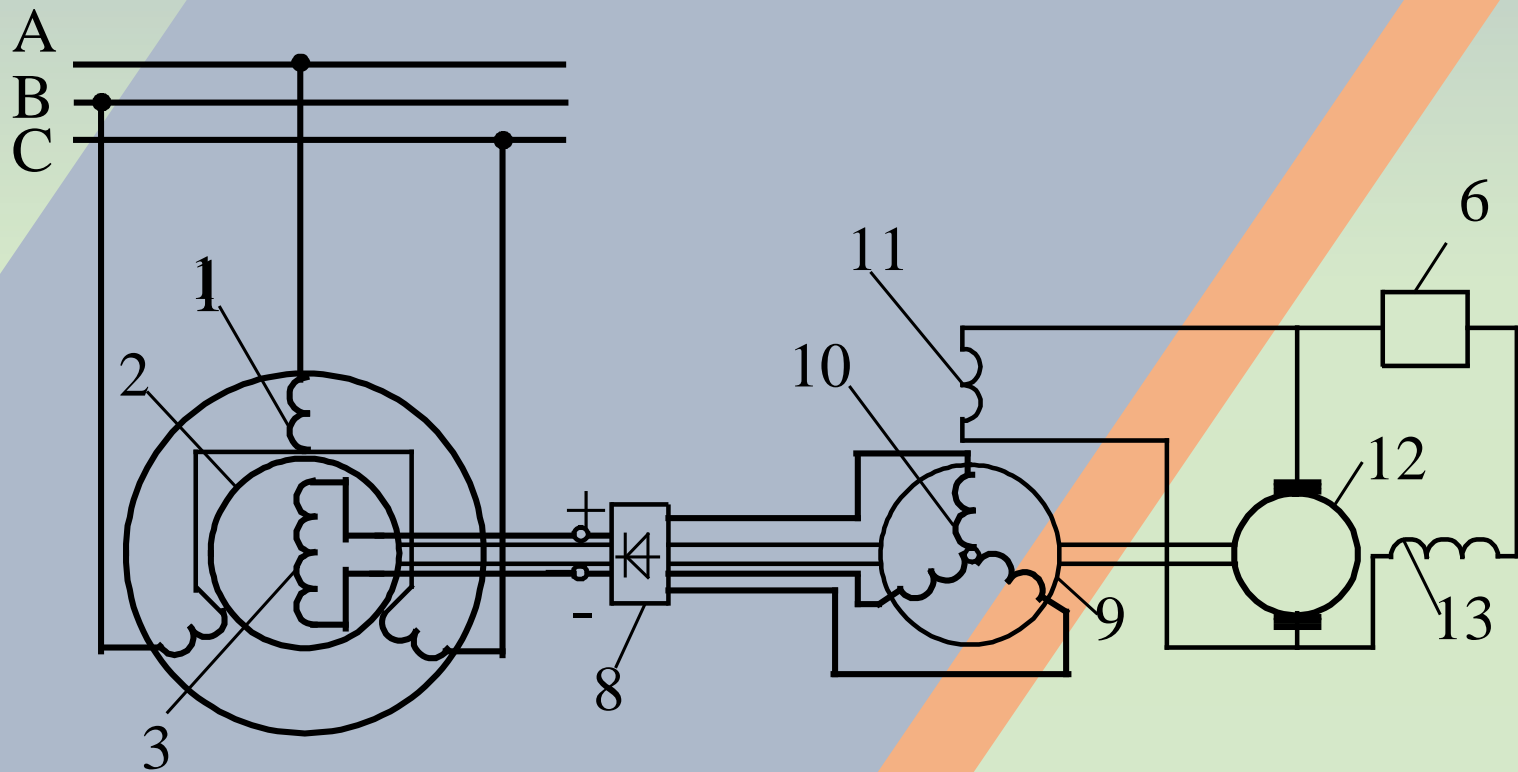
PMG(1)-generator sincron cu magneți permanenți; Exciter rotor&stator(2)-excitatricea principală (mașină sincronă inversată); AVR(3)-regulator automat de tensiune.

Sistem de excitație cu punte redresoare conectată la rețea

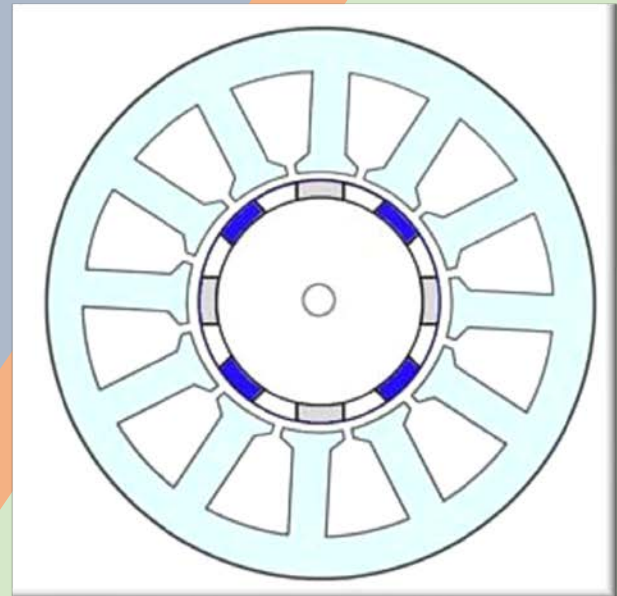
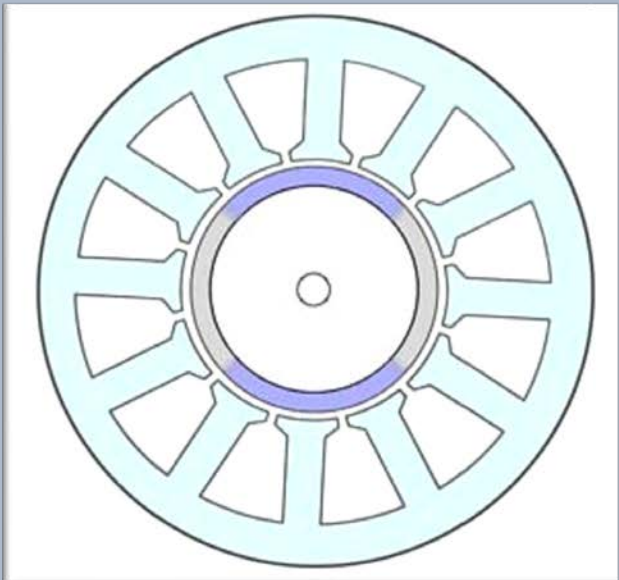
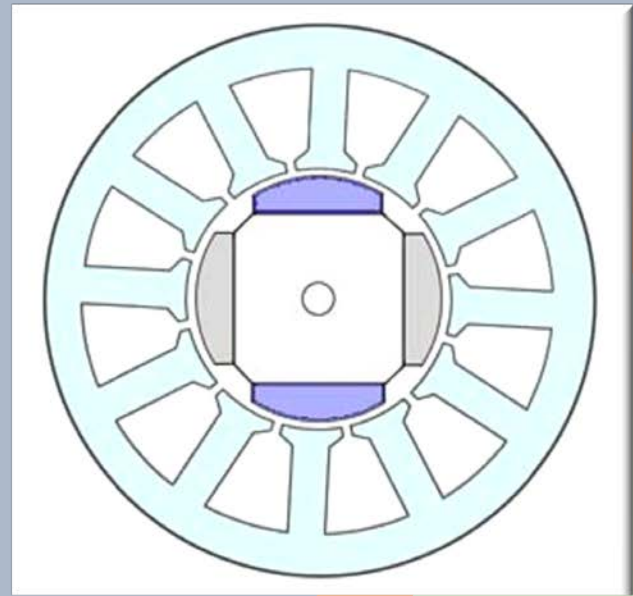
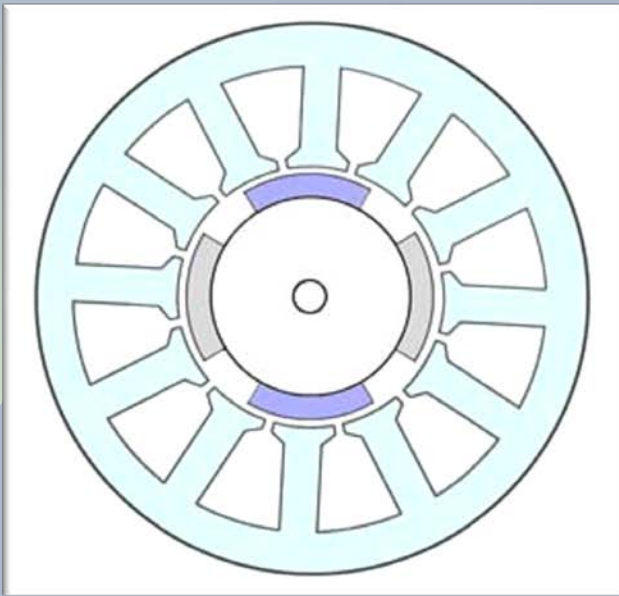


1.Înfășurare statorică, 2. Rotor generator sincron, 3. Înfășurare de excitație, 4. Inele rotorice, 5. Perii, 6. Regulator de tensiune, 8. Redresor.

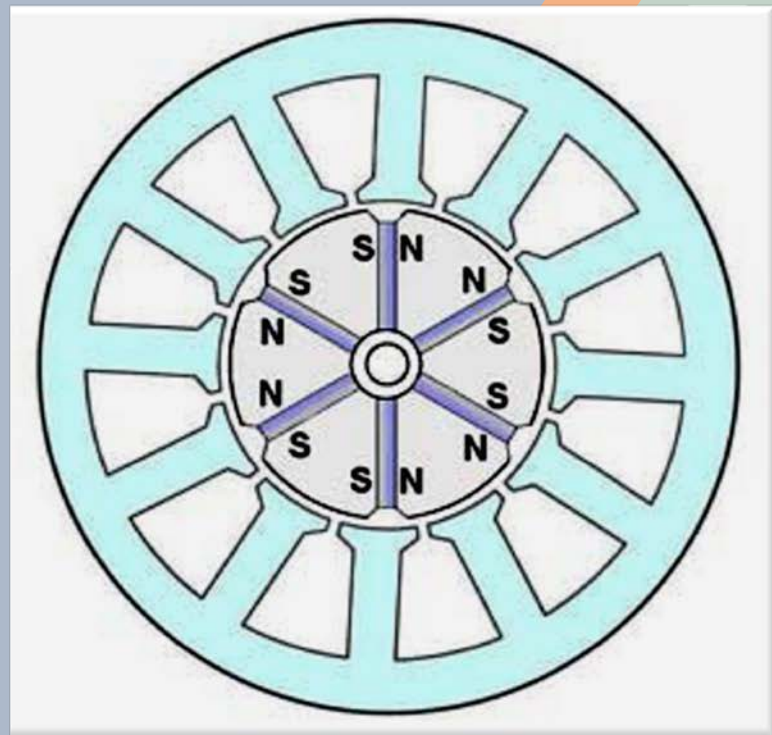
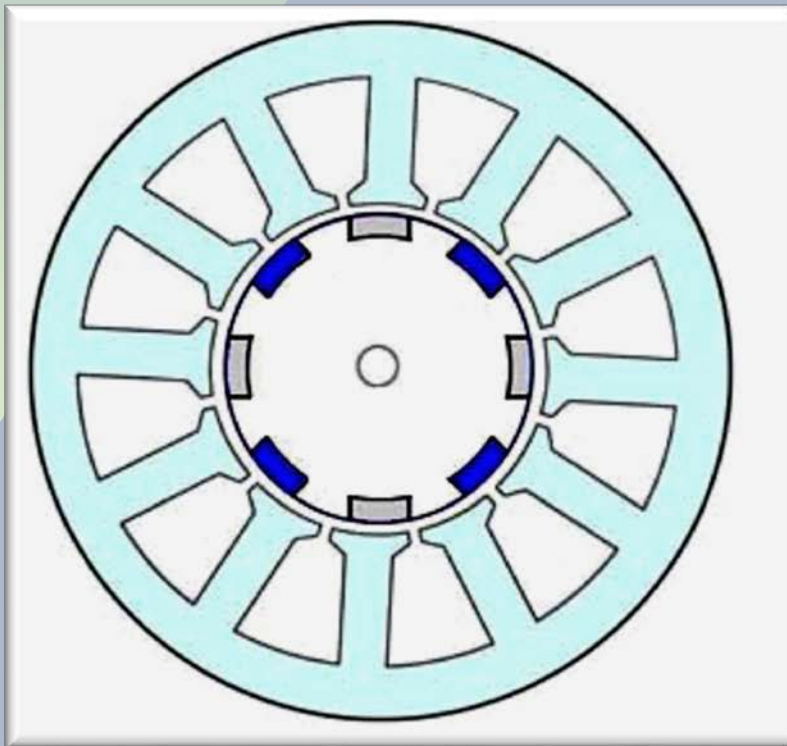
Sistem de excitație cu excitatoare, subexcitatoare și punte redresoare



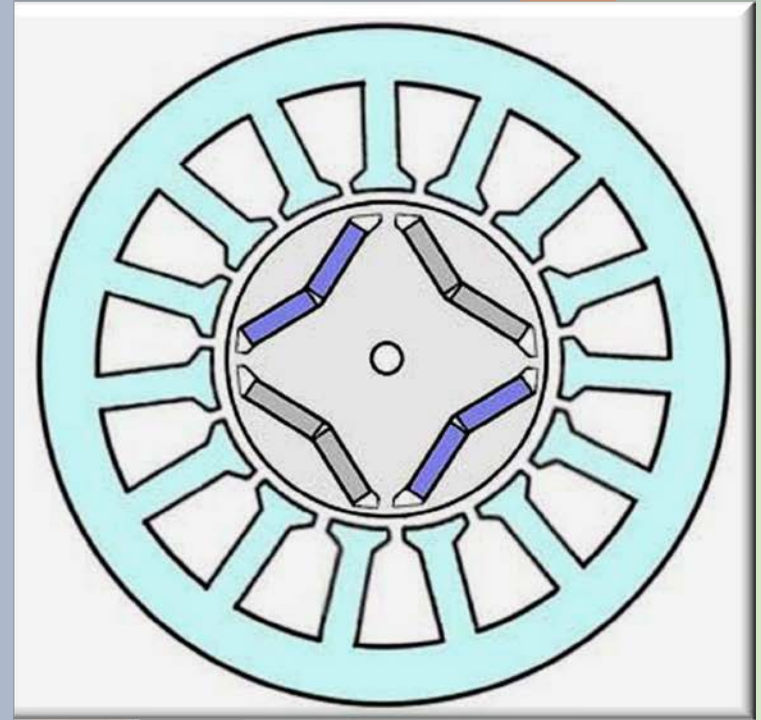
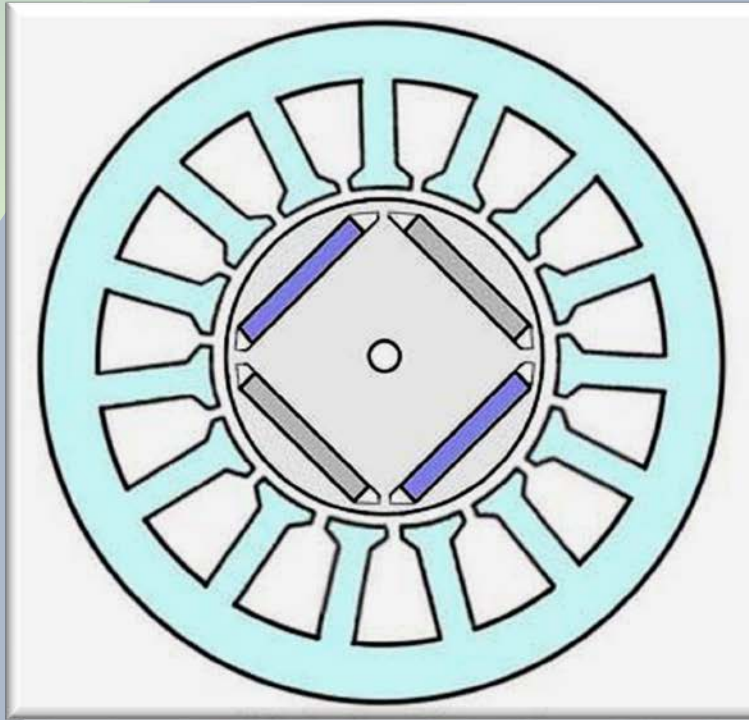
1.Înfășurare satorică, 2. Rotor generator sincron, 3. Înfășurare de excitație, 6. Regulator de tensiune, 8. Redresor, 9. Rotor excitatoare, 10. Înfășurare indusă a excitatoarei, 11. Înfășurare de excitație a excitatoarei, 12. Subexcitatoare, 13. Înfășurare de excitație a subexcitatoarei.



Excitație cu magneți permanenți plasați pe suprafața rotorului



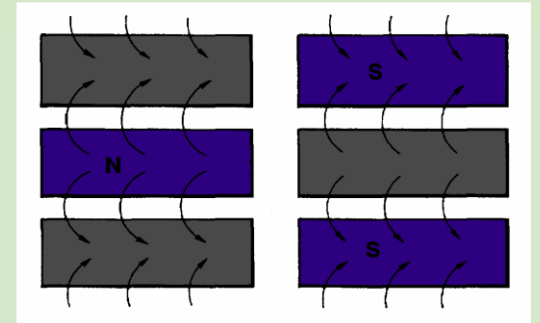
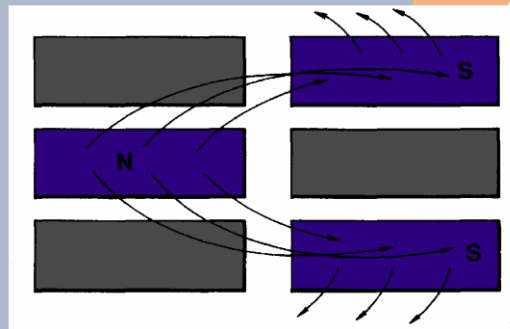
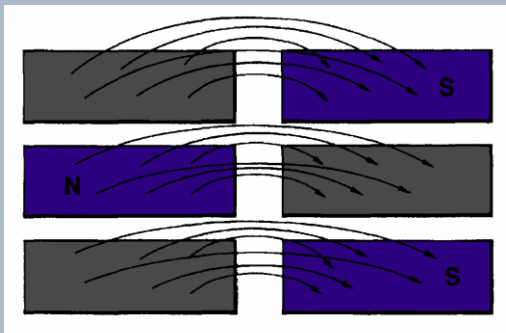
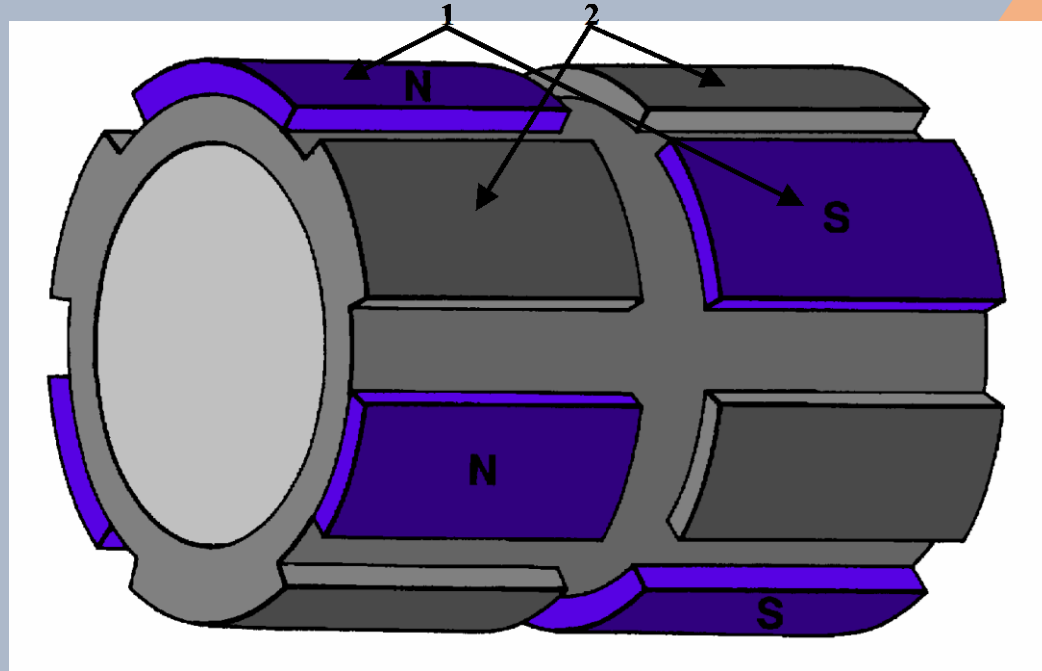
Excitație cu magneți permanenți plasați la periferia rotorului si tip spiță



Excitație cu magneți permanenți plasați la interiorul rotorului

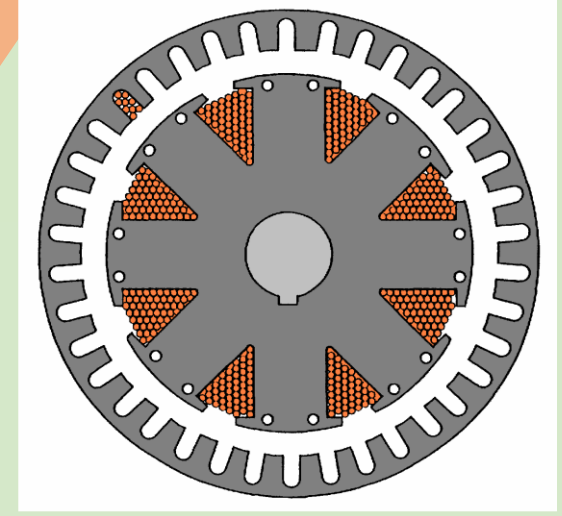
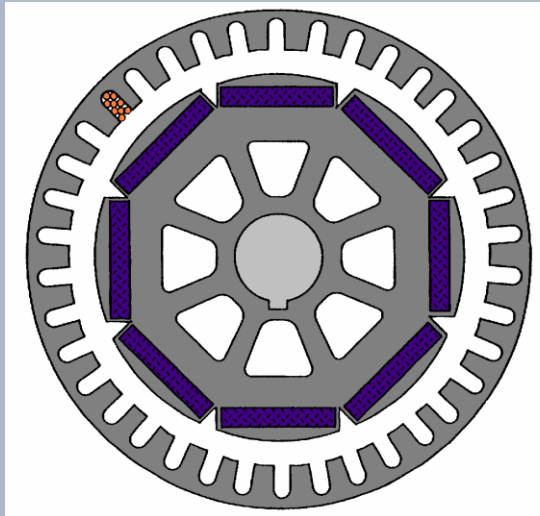
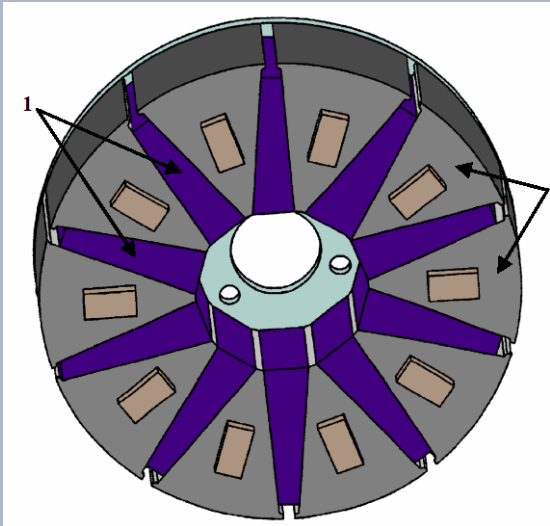
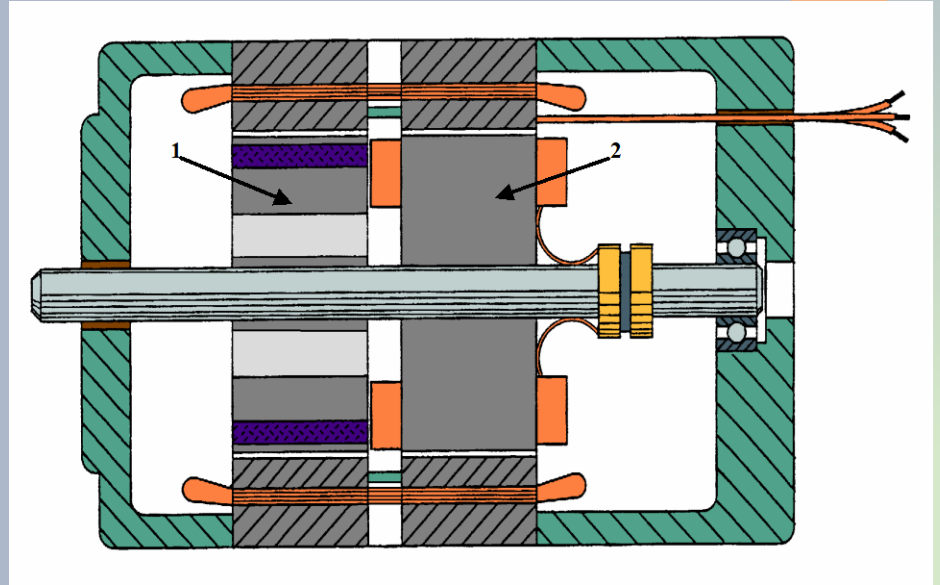
Generator sincron cu excitație hibridă

- 1- poli inductori MP
- 2- poli inductori electromagnetici



Generator sincron cu excitație hibrida cu doua rotoare

- 1- rotor cu MP
- 2- rotor cu excitație electromagnetica

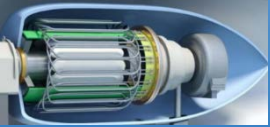


rotor cu MP

rotor cu excitație electromagnetica

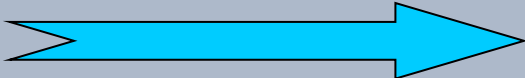
5

Mașini supraconductoare




1911: Kammerlingh Onnes descoperă fenomenul de supraconductivitate:

Dispariția completă a rezistenței electrice la anumite temperaturi și atenuarea câmpului magnetic interior

LTS wires  ~ 4K

Aluminiu	1.2 K
Mercur	4.2 k

HTS wires  > 77K

HgBa₂Ca₂Cu₃O₈	133 K
--	--------------

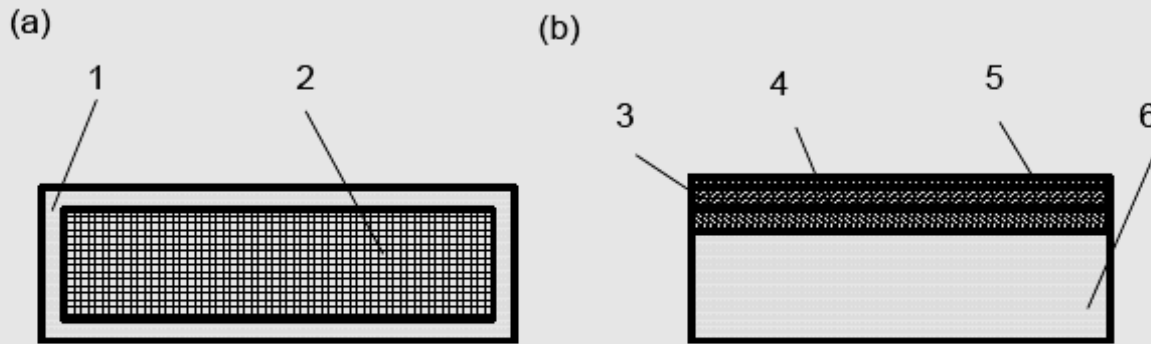


Fig. 2.16. HTS wires: (a) 1st generation (1G); (b) 2nd generation (2G). 1 — silver alloy matrix, 2 — SC filaments, 3 — SC coating, 4 — buffer layer, 5 — noble metal layer, 6 — alloy substrate.

- *First generation (1G) superconductors, i.e., multi-filamentary tape conductors* BiSrCaCuO (BSCCO) developed up to industrial state. Their properties are reasonable for different use, but prices are still high.
- *Second generation (2G) superconductors, i.e., coated tape conductors:* YBaCuO (YBCO) which offer superior properties. They are commercially manufactured.

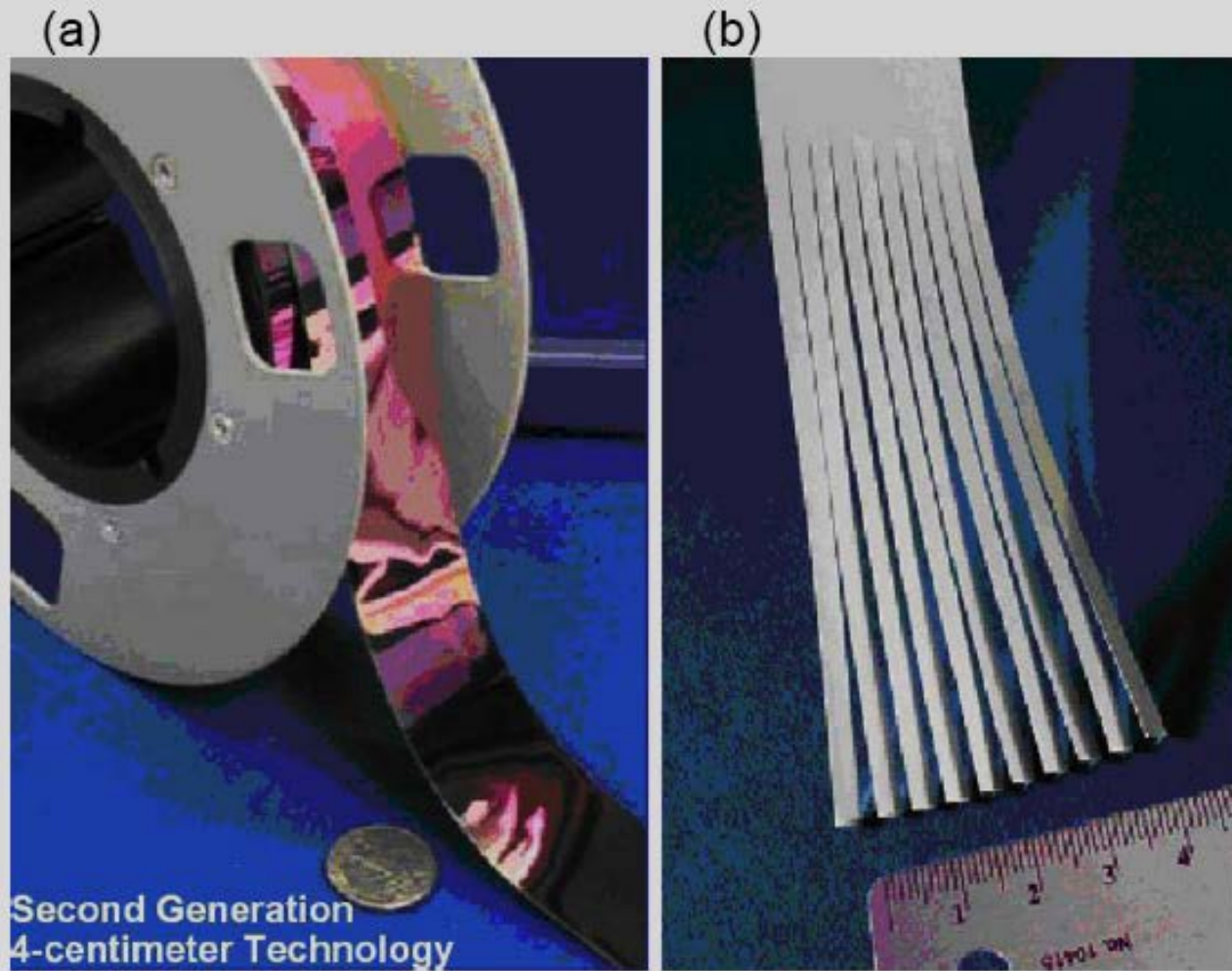


Fig. 2.17. Second generation (2G) 4 cm technology: (a) 4 cm wide strip; (b) strip cut into 4 mm tapes. Photo courtesy *American Superconductors* [9].

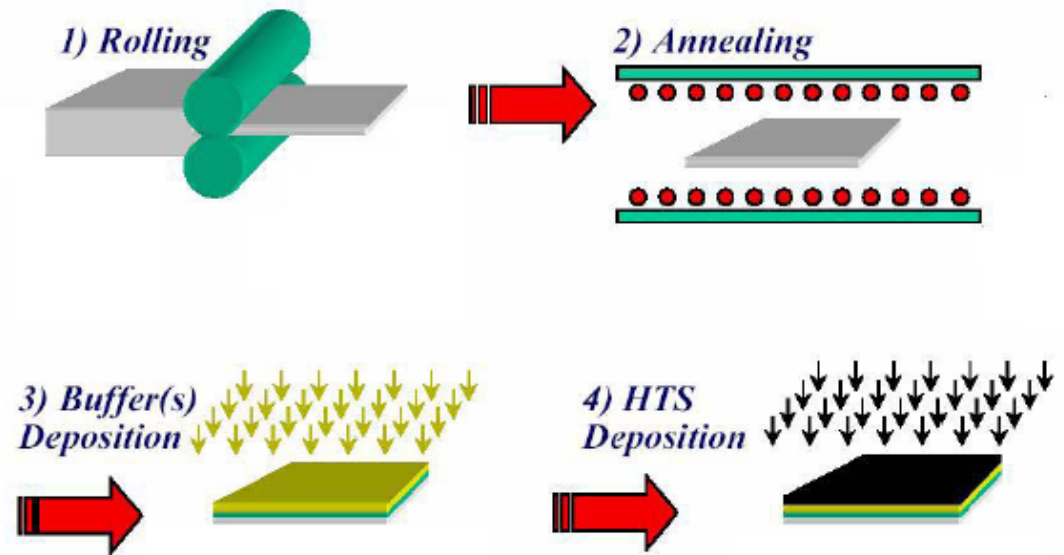


Fig. 2.18. High-speed, continuous reel-to-reel deposition process RABITS. Courtesy of *American Superconductors* [9].

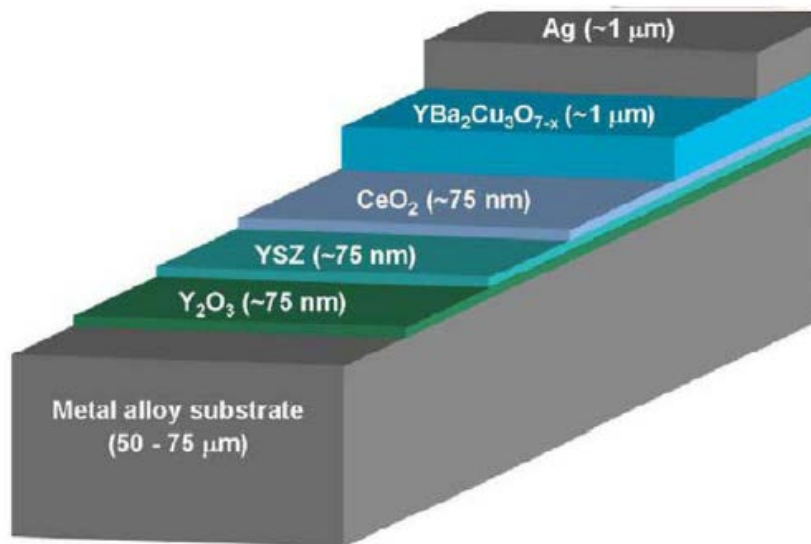


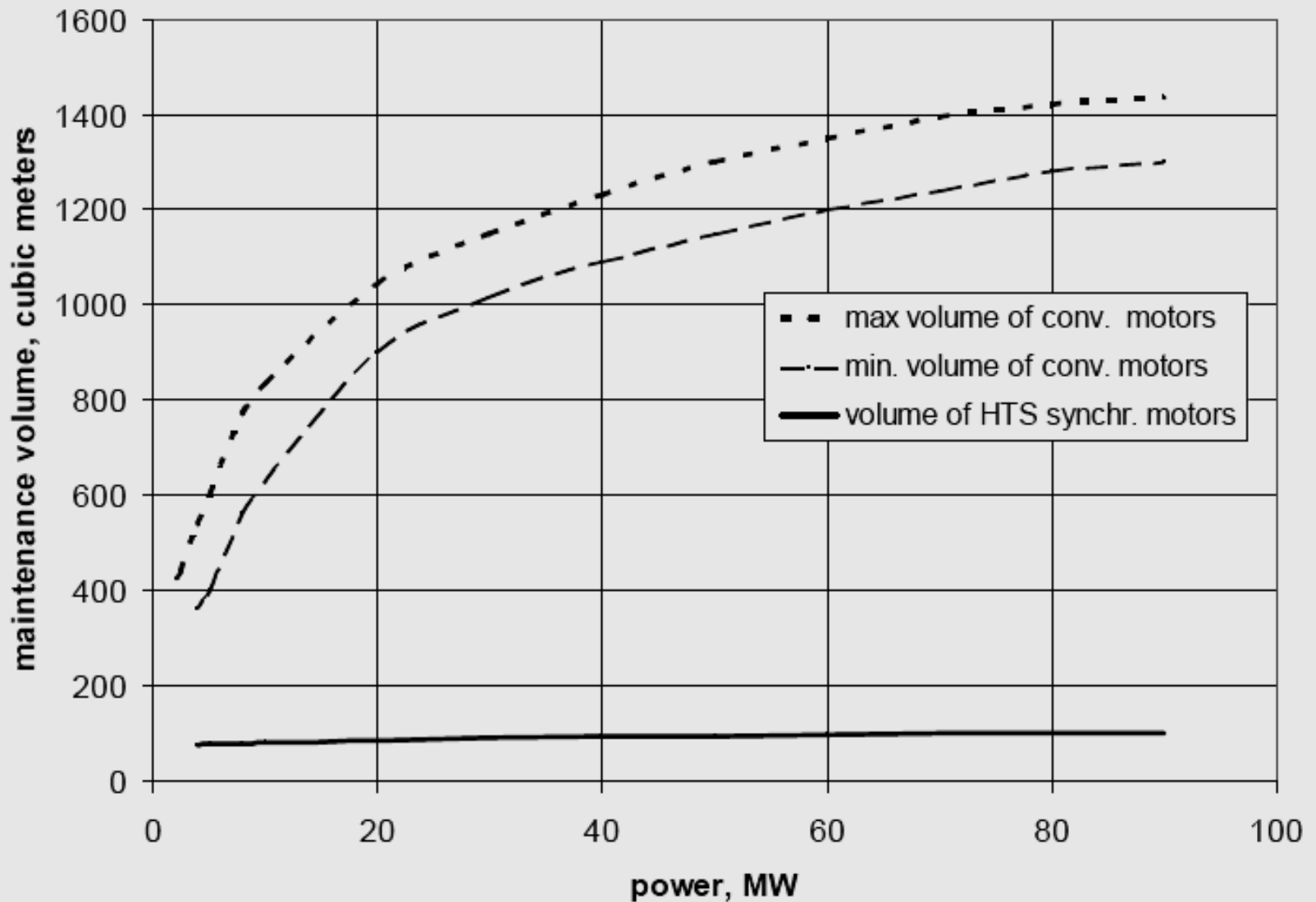
Fig. 2.19. RABITS/MOD 2G HTS architecture. Courtesy of *American Superconductors* [9].

Table 2.17. Specifications of HTS wires manufactured by *American Superconductors*, Westborough, MA, U.S.A. [9].

Specifications	Bismuth based, multi filamentary HTS wire encased in a silver alloy matrix	344 HTS copper stabilized wires, 4.4 mm wide	344 HTS stainless steel stabilized wires, 4.4 mm wide
Grade	BSCCO, 1G	YBCO, 2G	YBCO, 2G
Average thickness, mm	0.21 to 0.23	0.20 ± 0.02	0.15 ± 0.02
Minimum width, mm	3.9		
Maximum width, mm	4.3	4.35 ± 0.05 average	4.33 ± 0.07 average
Minimum double bend diameter at 20°C, mm	100	30	30
Maximum rated tensile stress at 20°C, MPa	65	150	150
Maximum rated wire tension at 20°C, kg	4		
Maximum rated tensile stress at 77K, MPa	65		
Maximum rated tensile strain at 77K, %	0.10	0.3	0.3
Average engineering current density J_e , A/cm ² , at minimum critical current I_c , A	$J_e = 12,700$ $I_c = 115$ $J_e = 13,900$ $I_c = 125$ $J_e = 15,000$ $I_c = 135$ $J_e = 16,100$ $I_c = 145$	$J_e = 8000$ $I_c = 70$	$J_e = 9200$ $I_c = 60$
Continuous piece length, m	up to 800	up to 100	up to 20

A 3D rendered white humanoid figure stands on a light blue reflective surface. The figure is holding a large, light gray rectangular sign with a dark border. The sign contains the text 'Low speed HTS machines' in a blue, sans-serif font. The background is a light blue gradient with a diagonal orange stripe running from the bottom left to the top right. The figure has a large, smooth, spherical head and is shown from the side, holding the sign with both hands.

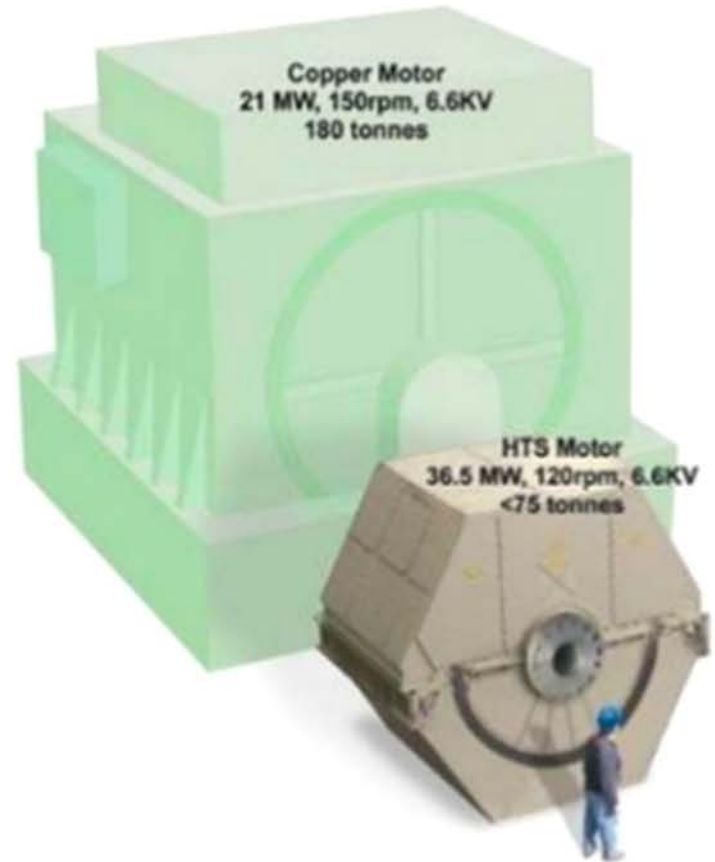
**Low speed
HTS machines**



Volum = f(Putere) pentru "HTS synchronous motors" destinate propulsiei navale

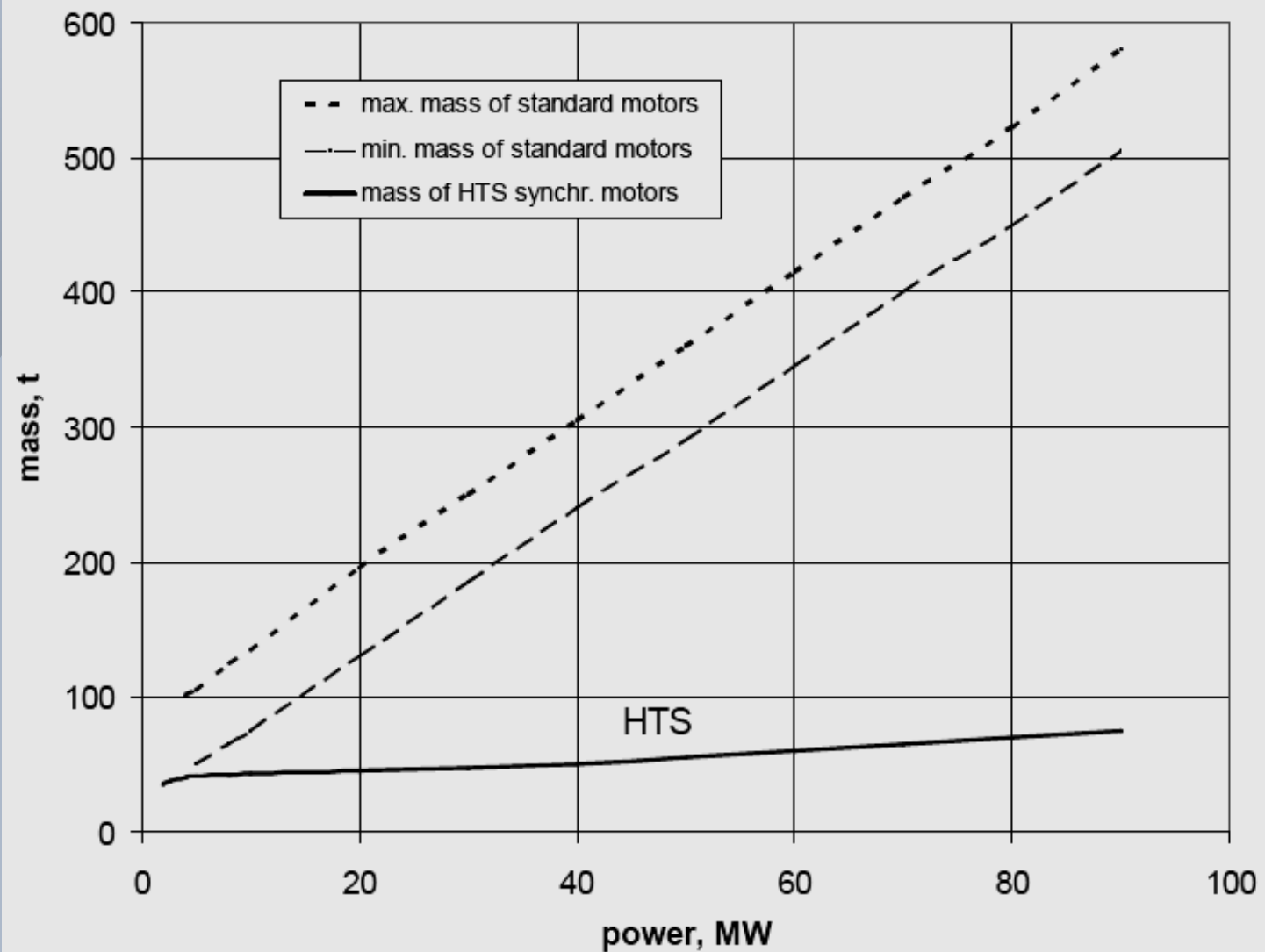


□ 36.5 MW, 120 rpm (U.S. Navy, AMSC)

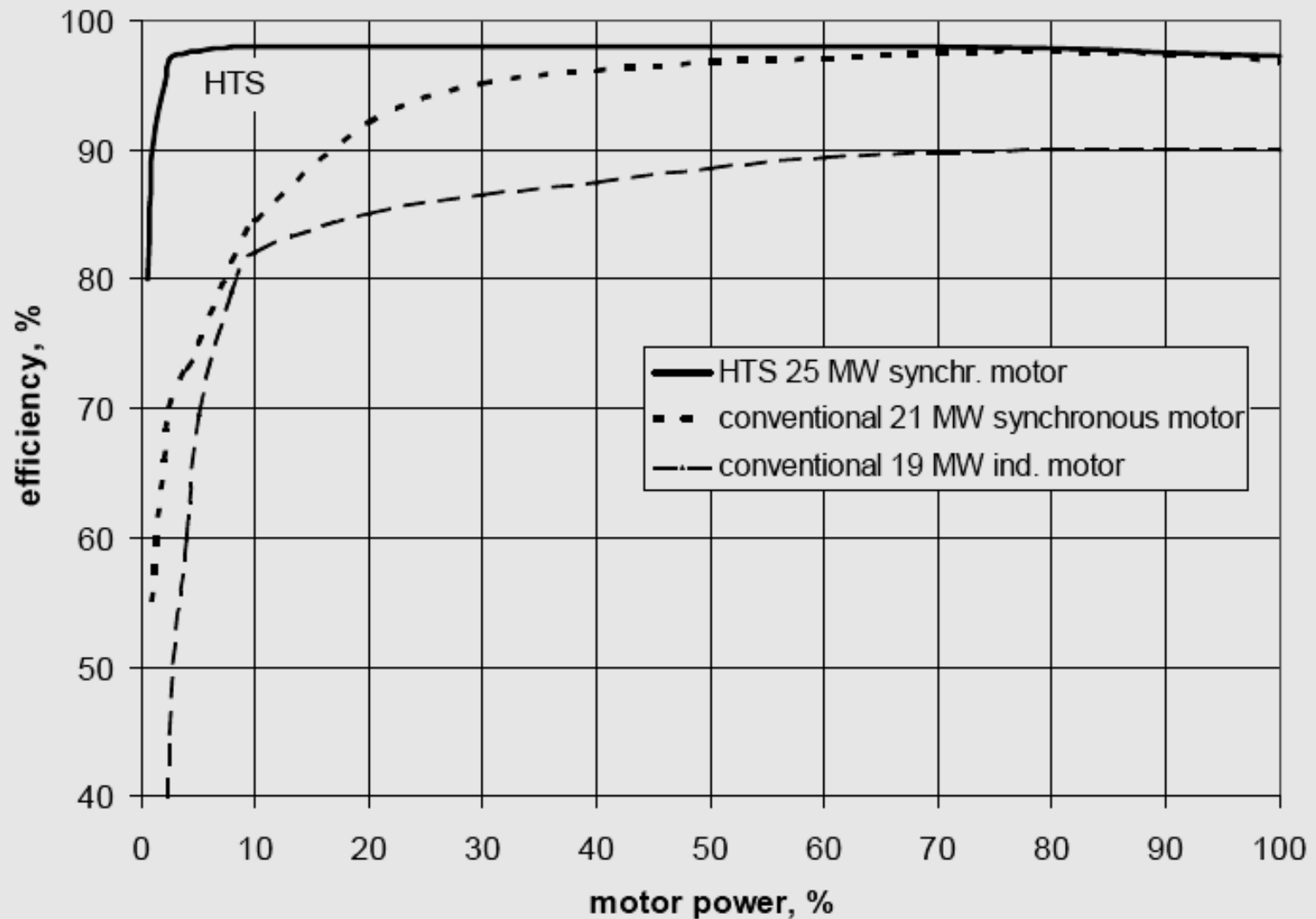


Copper Motor
21 MW, 150rpm, 6.6KV
180 tonnes

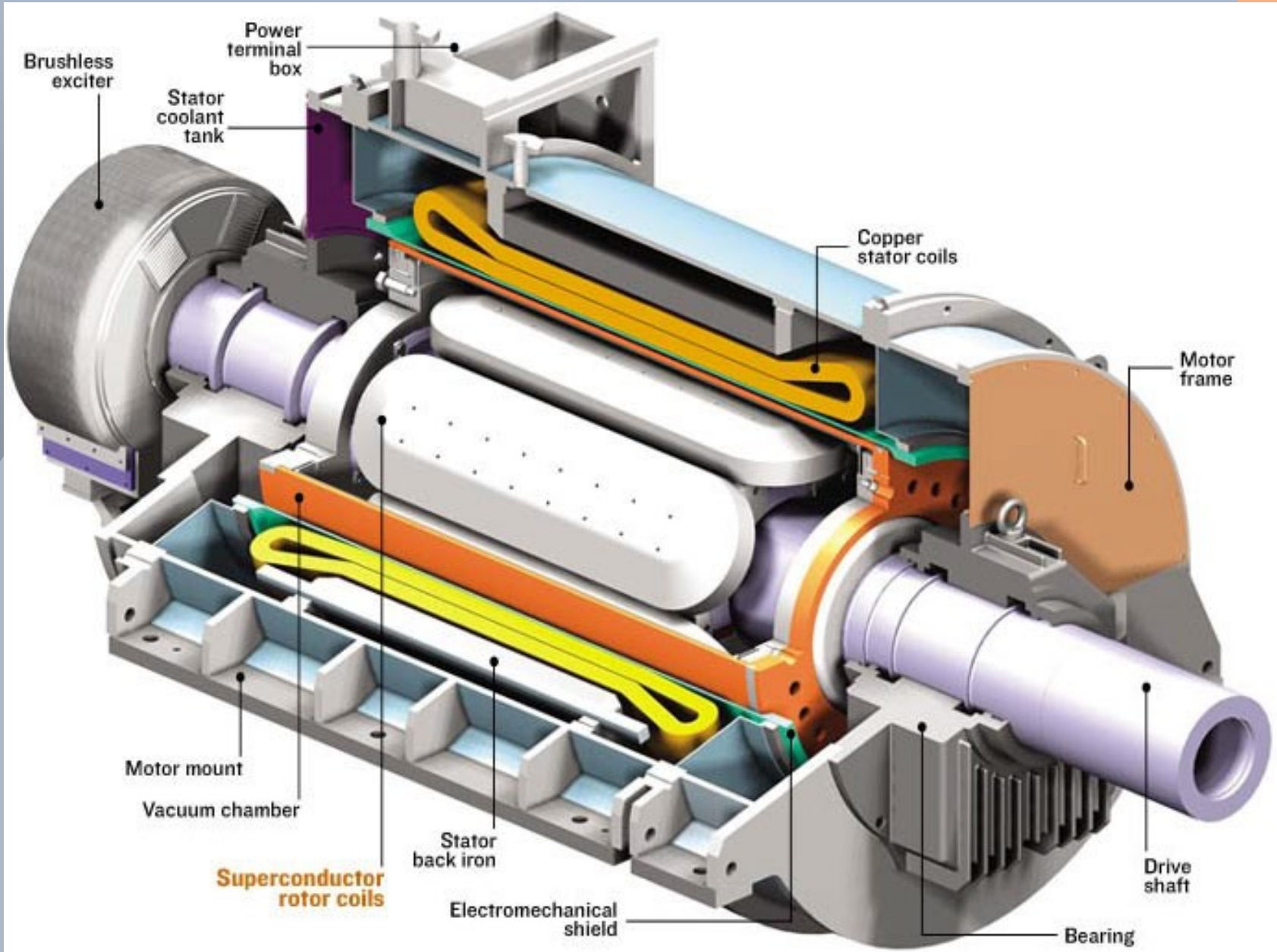
HTS Motor
36.5 MW, 120rpm, 6.6KV
<75 tonnes



Masa = f(Putere) pentru "HTS synchronous motors" destinate propulsiei navale



$\eta = f(P)$ pentru "HTS synchronous motors" destinate propulsiei navale



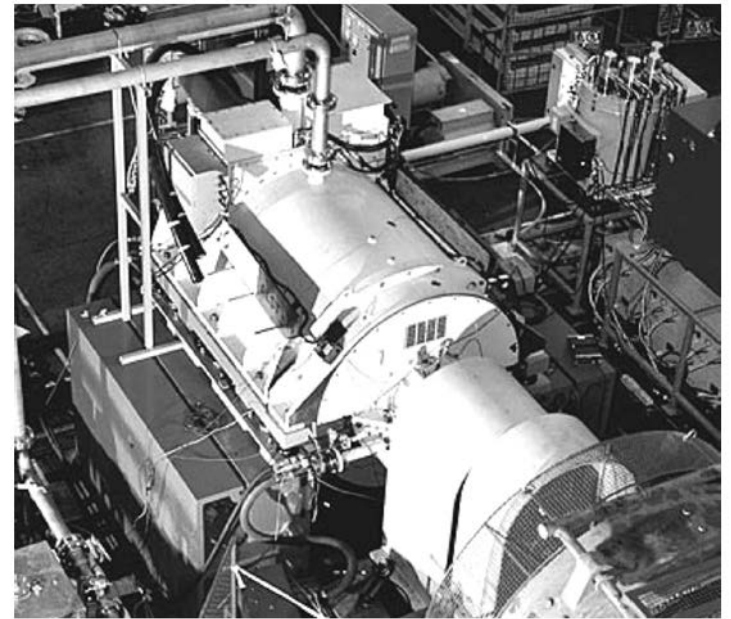


Fig. 8.5. General view of the 5 MW synchronous motor with HTS rotor for ship propulsion under tests at *Alstom* facility in Rugby, U.K. Photo courtesy of *American Superconductors*, MA, U.S.A. [9].



Fig. 8.6. BSCCO HTS rotor assembly with exciter of the 5 MW synchronous motor manufactured by *American Superconductors* [9].

Table 8.1. Design parameters for the 5 MW 1G HTS synchronous motor [9].

Rated power, MW	5.0
Rated phase voltage, kV	2.4
Rated rms phase current, A	722
Power factor at rated load,	1
Rated speed, rpm,	230
Stator current frequency at rated speed, Hz	11.5
<i>d</i> -axis synchronous reactance, p.u.	0.32
<i>d</i> -axis transient reactance, p.u.	0.24
<i>d</i> -axis subtransient reactance, p.u.	0.16
Armature short-circuit time constant, p.u.	0.069
<i>d</i> -axis subtransient short-circuit time constant, s	0.02
<i>q</i> -axis subtransient short-circuit time constant, s	0.028



Fig. 8.13. 36.5 MW synchronous motor with 1G BSCCO HTS rotor for ship propulsion manufactured by *American Superconductors*. Photo courtesy of *American Superconductors*, Devens, MA, U.S.A.

Table 8.2. Comparison of two prototypes of HTS synchronous motors for marine propulsion manufactured by *American Superconductors* [9].

Output power, MW	5.0	36.5
Speed, rpm	230	120
Torque efficiency, %	96	97
Power factor	1.0	1.0
Number of phases	3	9
Number of poles	6	16
Terminal voltage, kV	4.16	6.0
Armature current, A rms	722	1,270
Frequency, Hz	11.5	16
HTS wires		1G BSCCO
Mass, t	23	75
Dimensions (LxWxH), m	2.5x1.9x1.9	3.4x4.6x4.1
Stator winding cooling		Liquid
Power electronics		Commercial marine



Fig. 8.16. *Siemens* 400 kW HTS synchronous machine in the test bed. Photo courtesy of *Siemens* [135, 136].

Table 8.3. Specifications of the 400 kW *Siemens* model machine.

Number of phases	3
Rated frequency, Hz	50
Rated voltage, V	400
Nominal power, kW	400
Rated speed, rpm	1500
Nominal torque, N m	2600
Power overload capability	150%/15 min
Torque overload capability, %	700
Synchronous reactance, p.u.	0.15
Rotor cooling power at 25K, W	approx 25
Efficiency, %	> 96 including cryogenics



Fig. 8.18. Cryogenic cooling system of the 4 MVA *Siemens* HTS generator. The third refrigerator is hidden behind the right one. Photo courtesy of *Siemens*.

Table 8.4. Specifications of the 4 MW *Siemens* model machine.

Specifications	HTS generator	Conventional generator
Number of phases	3	3
Nominal power, kW	4000	4000
Nominal a.c. voltage at 60Hz, kV	6.6 (3.3)	6.6
Nominal torque, kNm	10.6	21
Nominal speed, rpm	3600	1800
Number of poles,	2	4
Synchronous reactance, p. u.	0.41	2.22
Nominal current, A	350 (700)	350
Class of stator winding insulation	F (155 ⁰ C)	F (155 ⁰ C)
Initial symmetrical short circuit current/nominal current ratio	16	16
Two pole short circuit torque/nominal torque ratio	7	8
Steady short circuit current/nominal current ratio	4	1.2
Underexcited operation at $\cos\phi = 0$	Yes	No
Nominal cryocooler power at 25K, W	50	N/A
Required electrical power for 2 cryocoolers, kW	12	N/A
Efficiency ($\cos\phi = 0$), cryocooler included, %	98.7	97.0
Length x Width x Height including cooling system, m	3.3 × 1.9 × 1.8	2.6 × 2.2 × 2.7
Foot print, m	1.9 × 1.2	1.8 × 1.8
Shaft height, m	0.5	0.8
Weight, t	7	11



Fig. 8.30. High voltage HTS 5 MVA synchronous generator built in Russia under test [10].

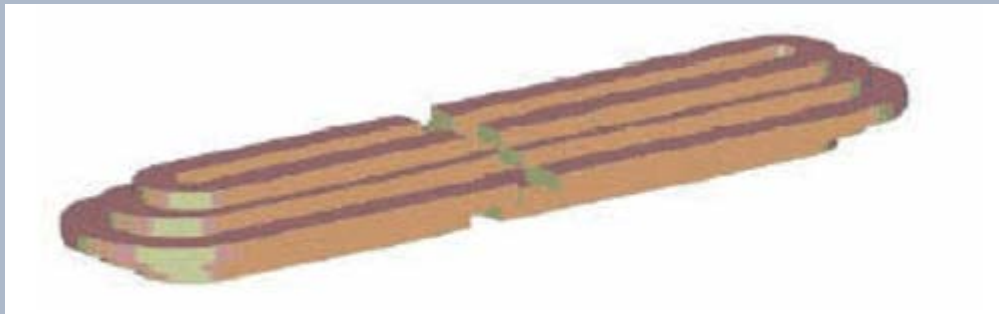


Fig. 8.32. Construction of the racetrack field excitation coil [10].

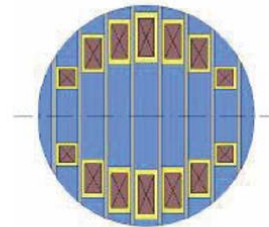
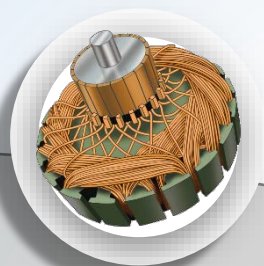


Fig. 8.33. Rotor with field excitation winding [10].

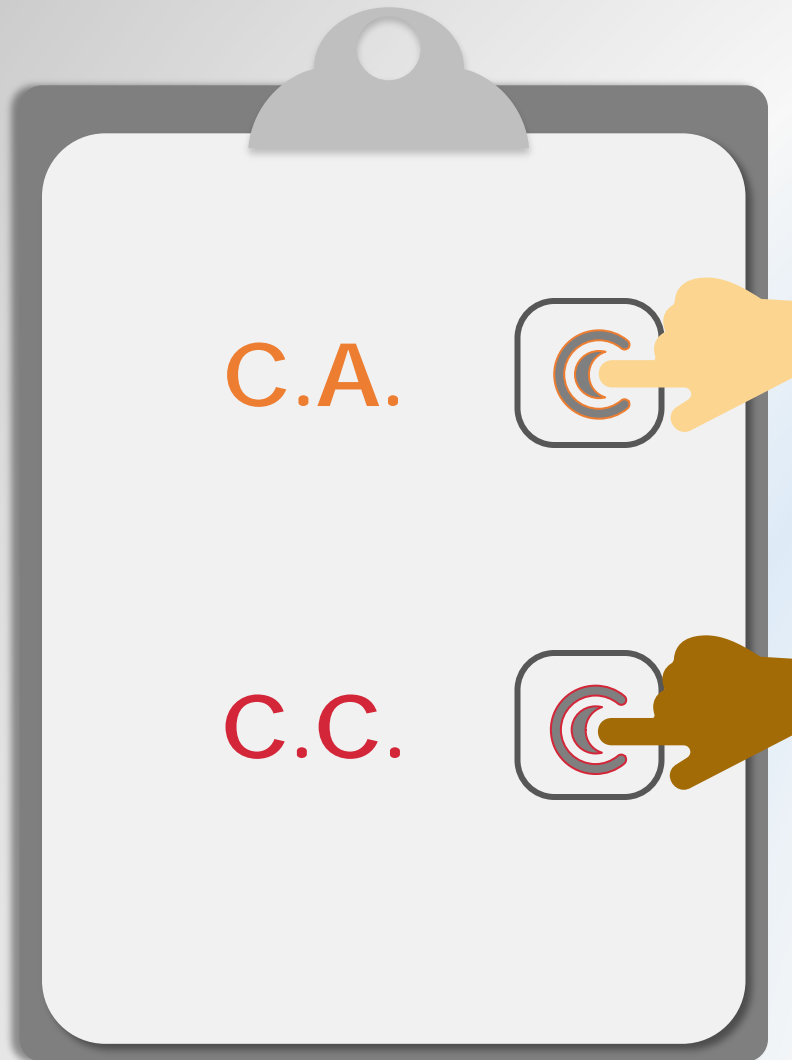


Fig. 8.34. Slotless saddle-type stator winding: (a) two-pole, three-phase winding diagram; (b) saddle-type coil shape; (3) cross section of the three-layer stator winding [10].

Înfășurările mașinilor electrice



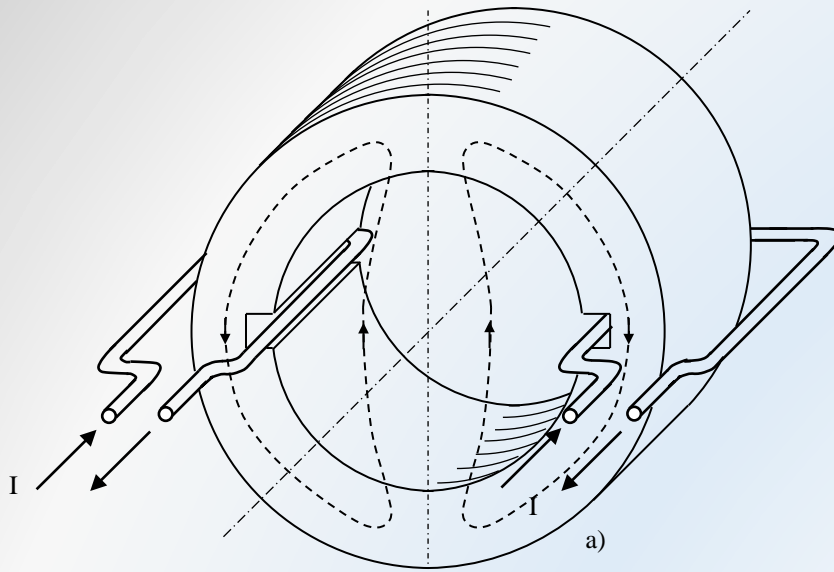
CLASIFICARE



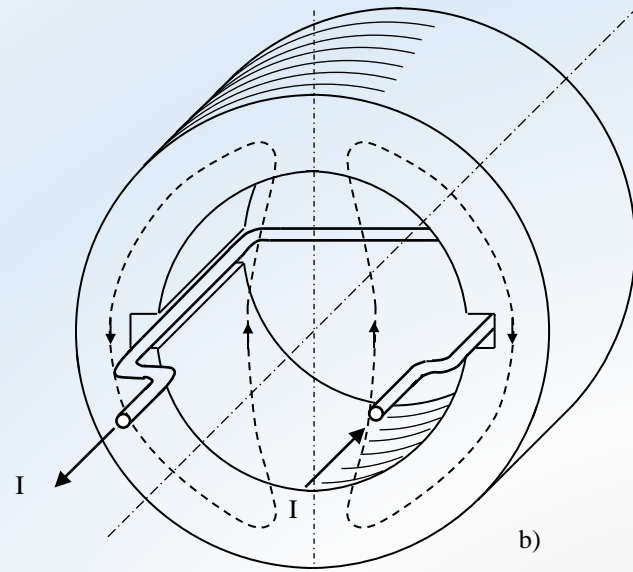
Înfășurări de curent alternativ.

Înfășurări de curent continuu.

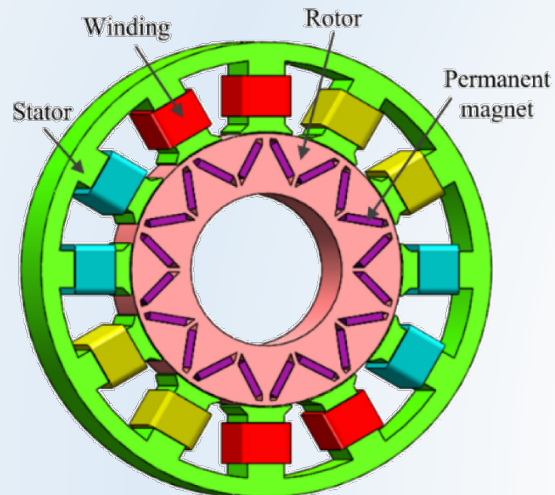
Înfășurări inductoare in mașinile de c.a.



a) Înfășurare în inel (toroidală)



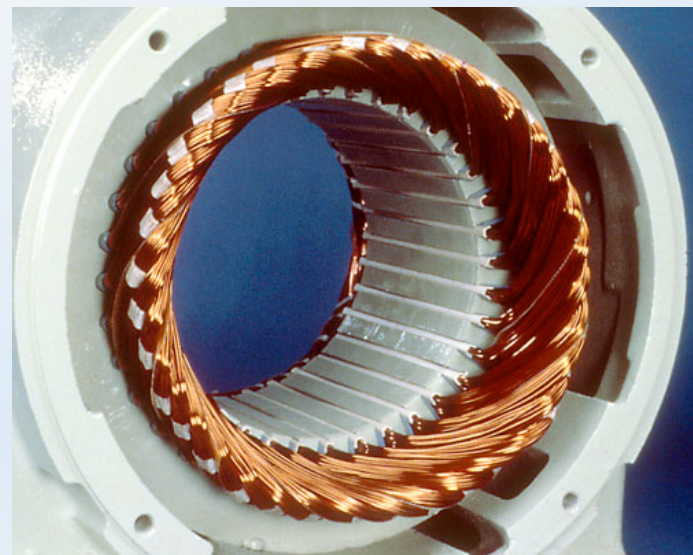
b) Înfășurare în tobă



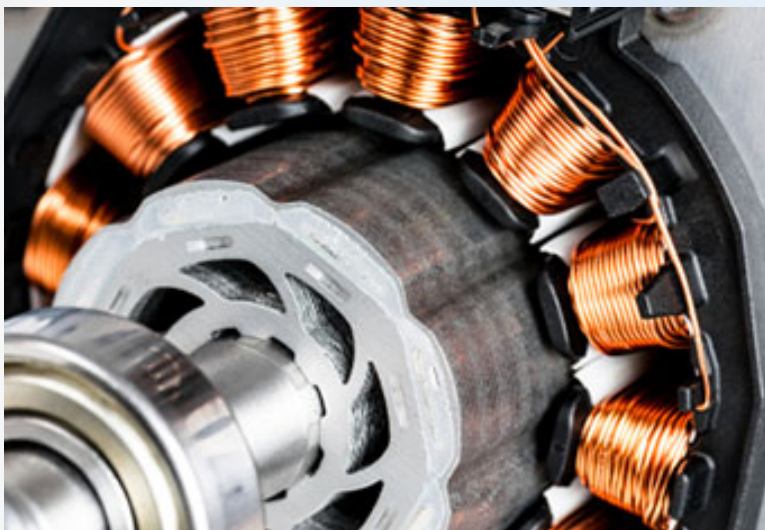
c) Înfășurare concentrată pe dinte



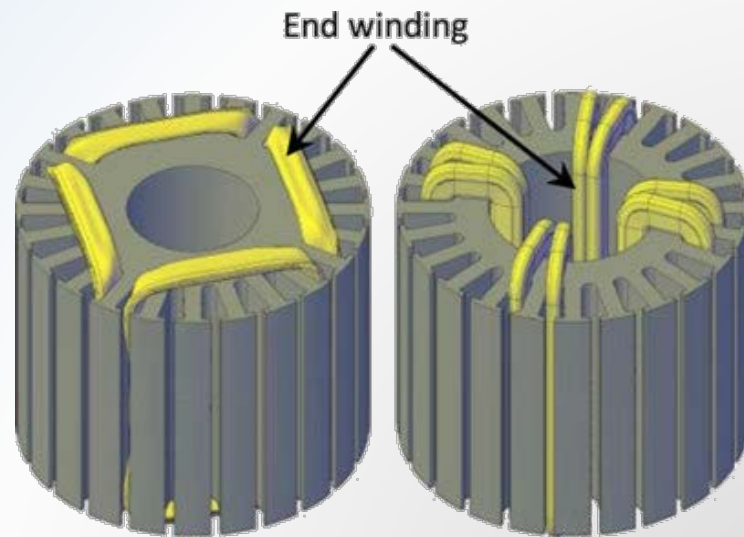
a) Înfășurare în inel (toroidală)



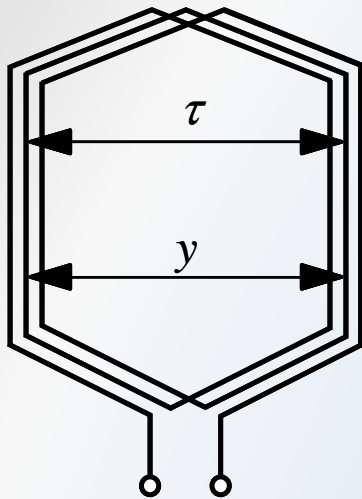
b) Înfășurare în tobă



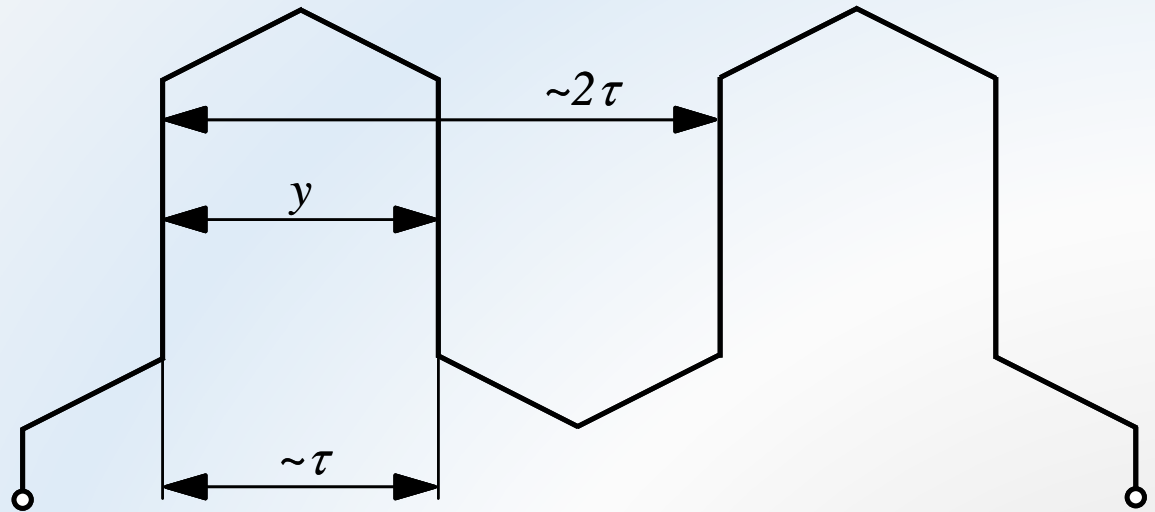
c) Înfășurare concentrată pe dinte



d) Înfășurare în tobă și în inel



a) $w_s=3$ (buclată)



b) $w_s=1$ (ondulată)

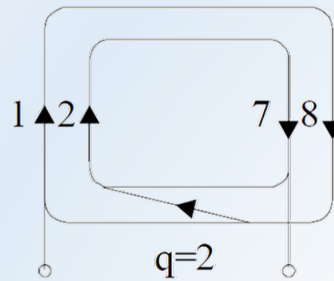
Tipuri de bobine pentru înfășurări de c.a.

CLASIFICARE

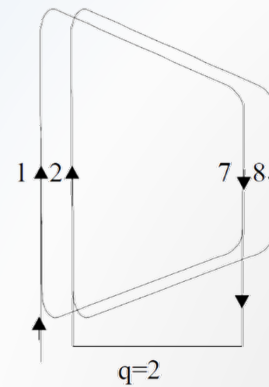
I. După tipul bobinelor

➤ Bobine egale

➤ Bobine concentrice



➤ Bobine trapezoidale

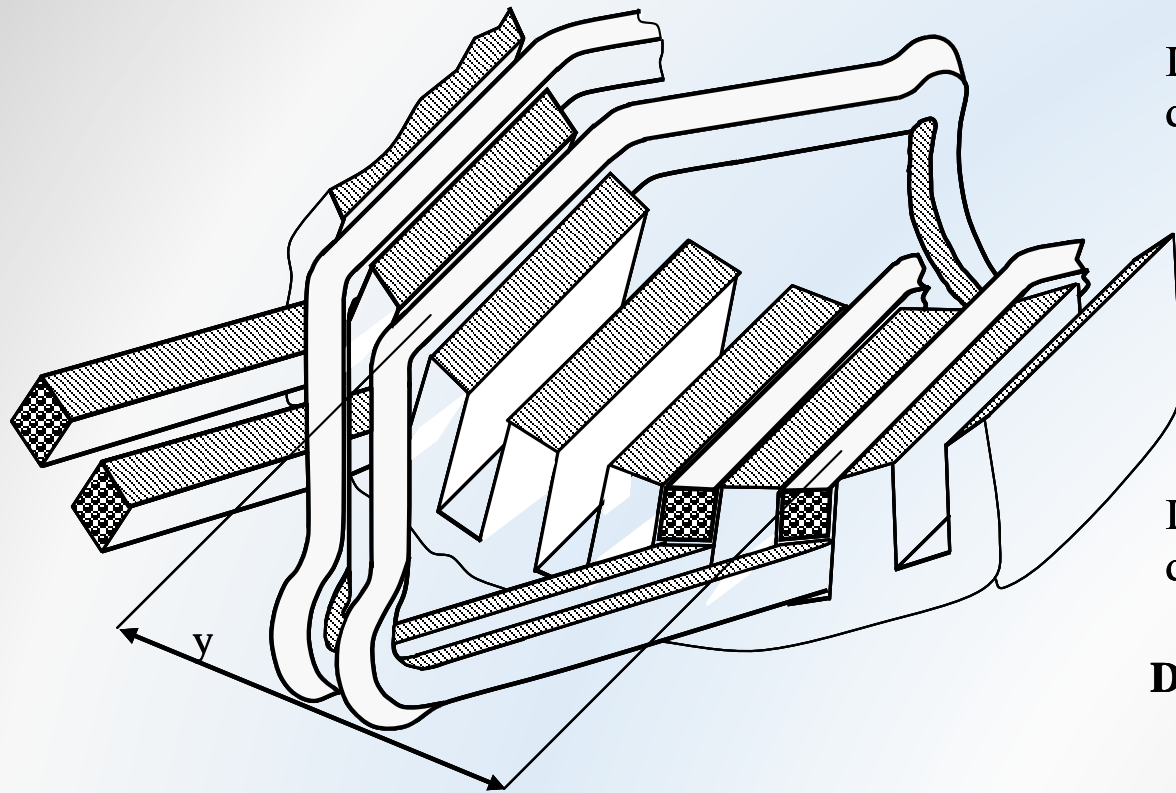


➤ Bobine în manta

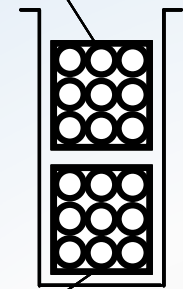
II. După numărul de straturi ale înfășurării

- **Înfășurări într-un singur strat (în fiecare crestătură este plasată *o singură* latură de bobină);**

- **Înfășurări în două straturi (în fiecare crestătură sunt plasate *două* laturi a două bobine diferite – o latură de ducere respectiv o latură de întoarcere. Bobinele pot fi din aceeași fază sau din faze diferite).**



Latură (mănunchi)
de ducere



Latură (mănunchi)
de întoarcere

Detaliu creștătură

Înfășurare în dublu strat

CALCULUL ÎNFĂȘURĂRILOR TRIFAZATE

Date inițiale:

- Z – numărul de crestături statorice
- $2p$ – numărul de poli
- m – numărul de faze

Date calculate:

- Q – numărul de crestături pe pol

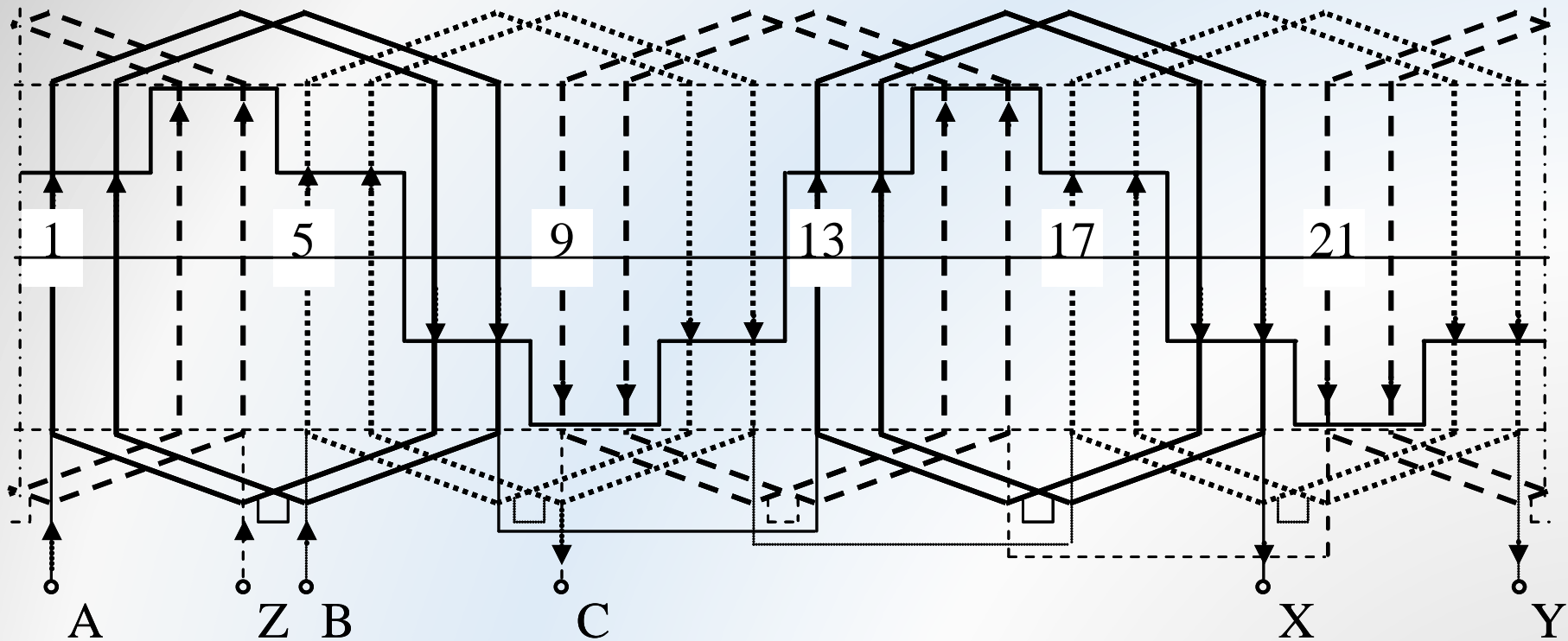
$$Q = \frac{Z}{2p}$$

- q – numărul de crestături pe pol și faza

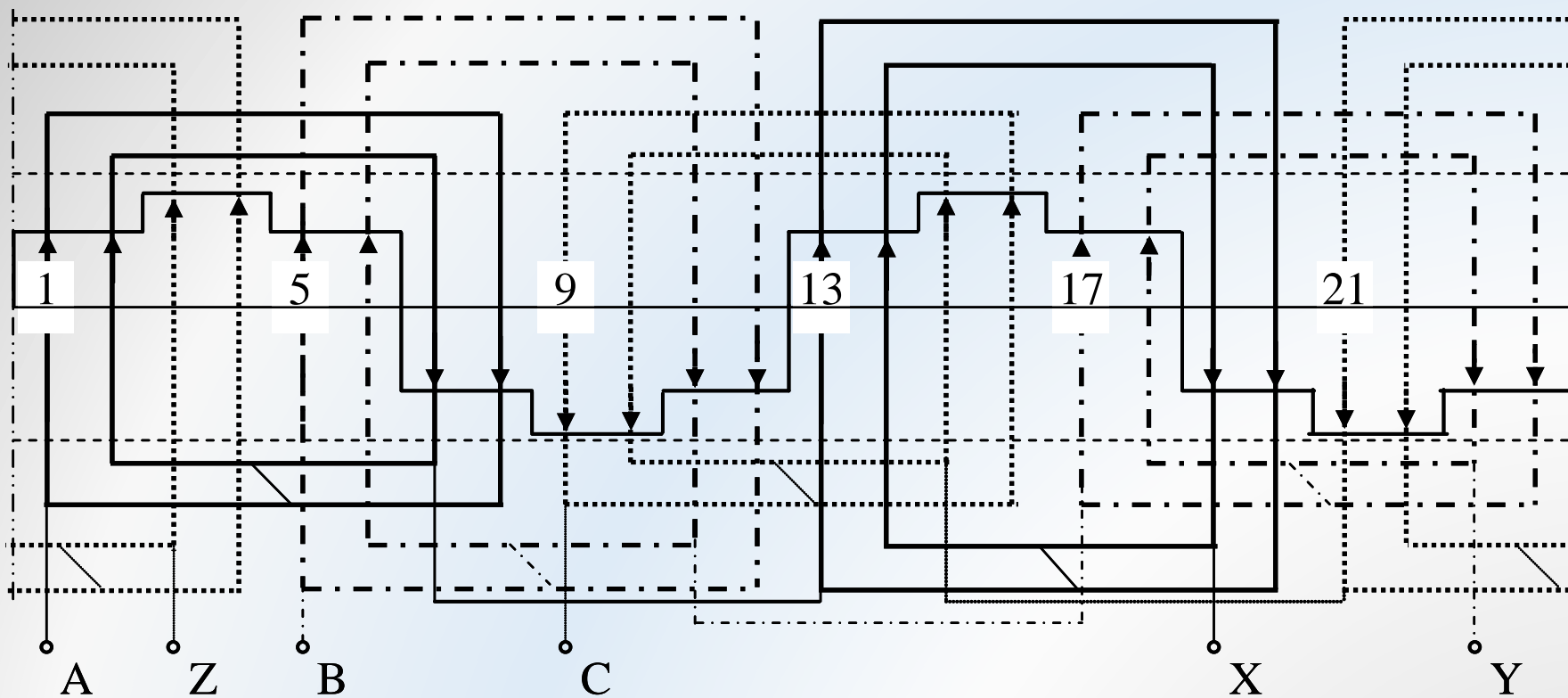
$$q = \frac{Z}{2pm}$$

- y – pasul înfășurării $y = \tau = \frac{Z}{2p}$

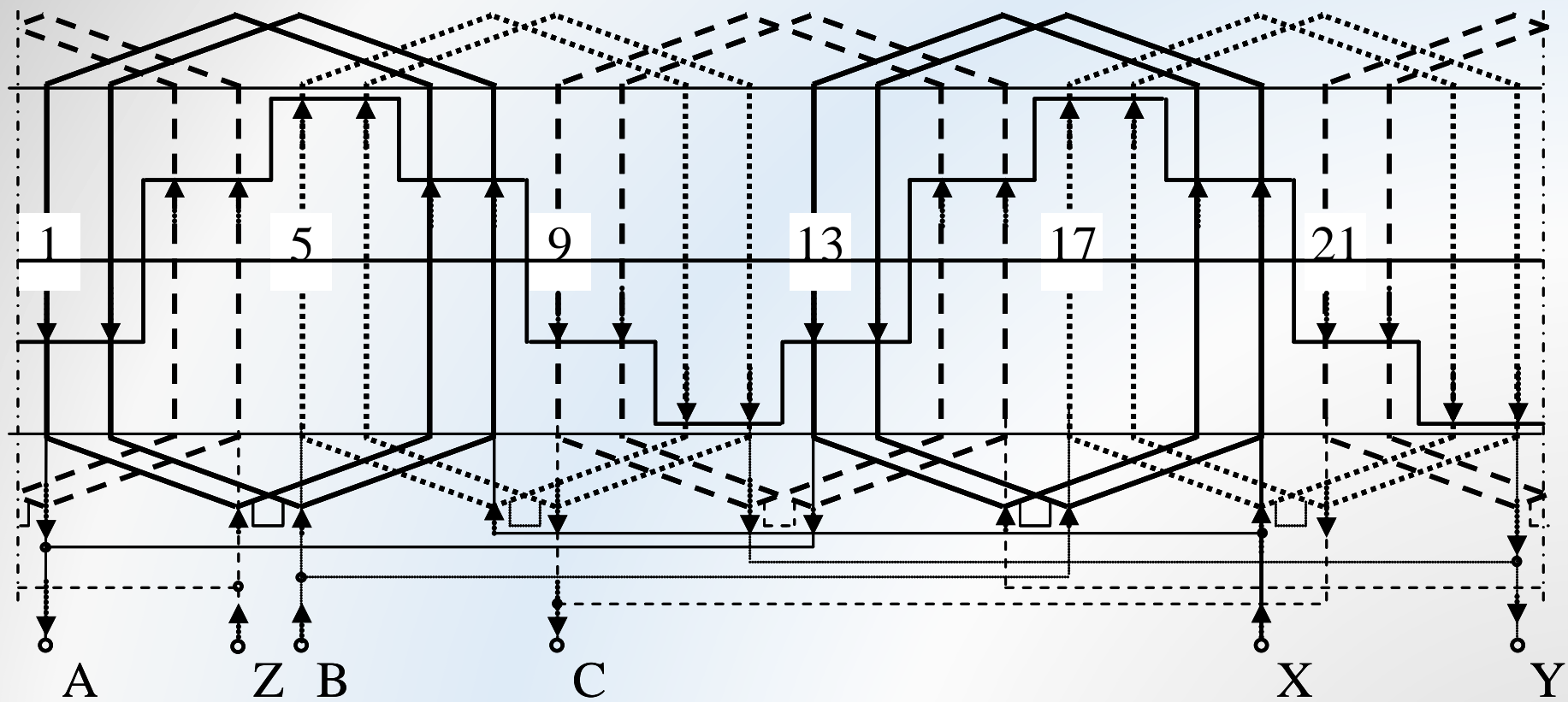
- unghiul electric al fazorilor $\alpha_{el} = \frac{2\pi}{Z} \cdot p = \frac{360}{Z} \cdot p$



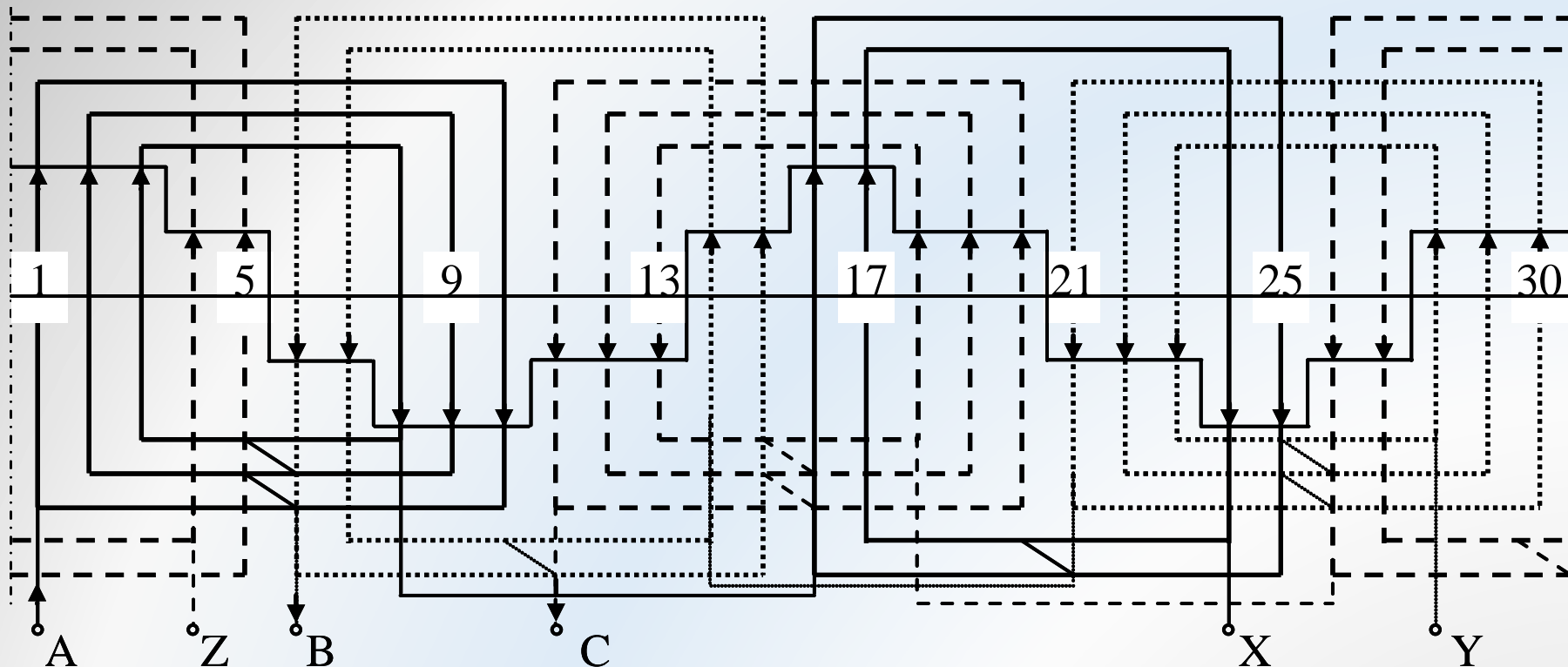
Înfășurare trifazată cu bobine identice (în manta): $Z=24$, $2p=4$, $a=1$
 $Q=24/4=6$; $q=24/12=2$; $y=\tau=24/4=6$



Înfășurare trifazată într-un strat (în două etaje) cu bobine concentrice, $Z=24$, $2p=4$, $a=1$

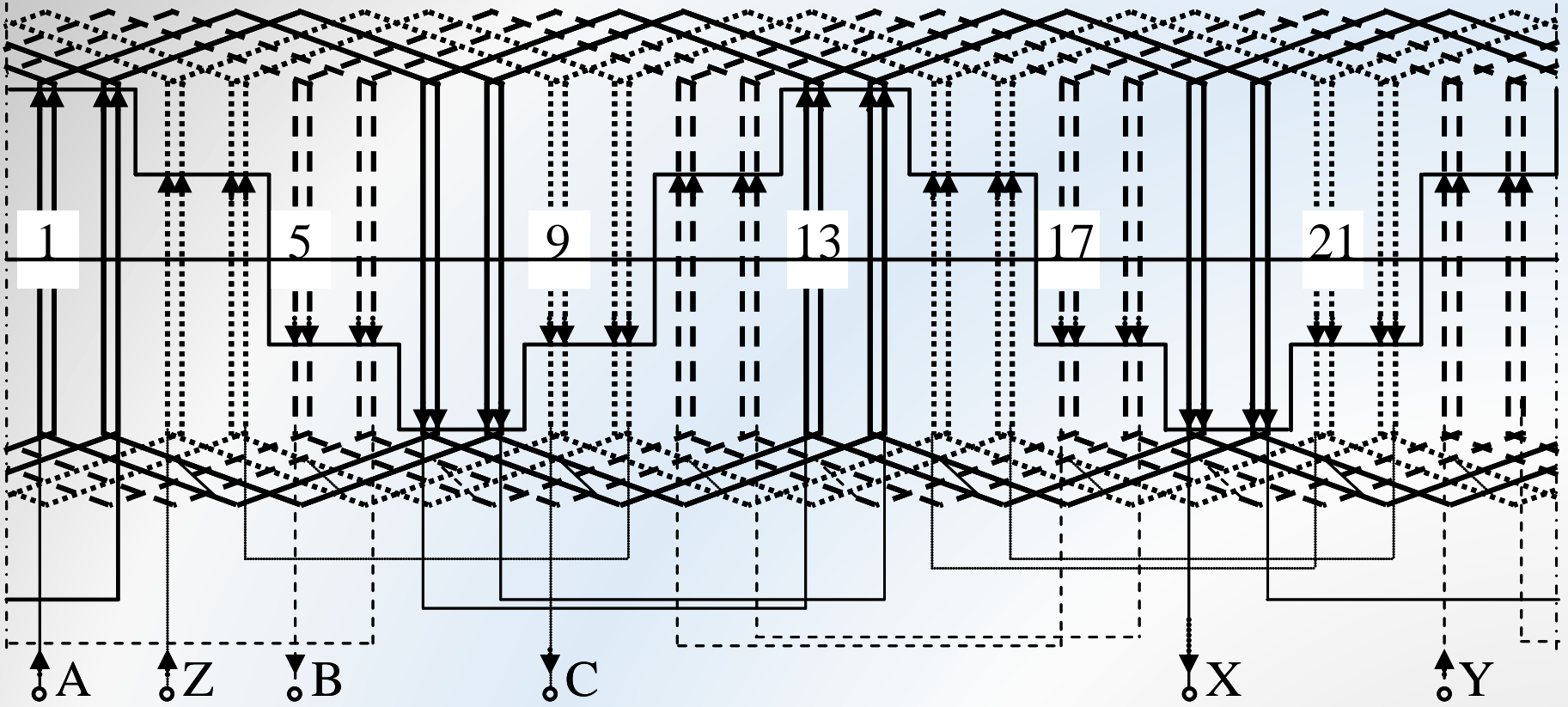


Înfășurare trifazată cu bobine identice (în manta): $Z=24$, $2p=4$, $a=2$



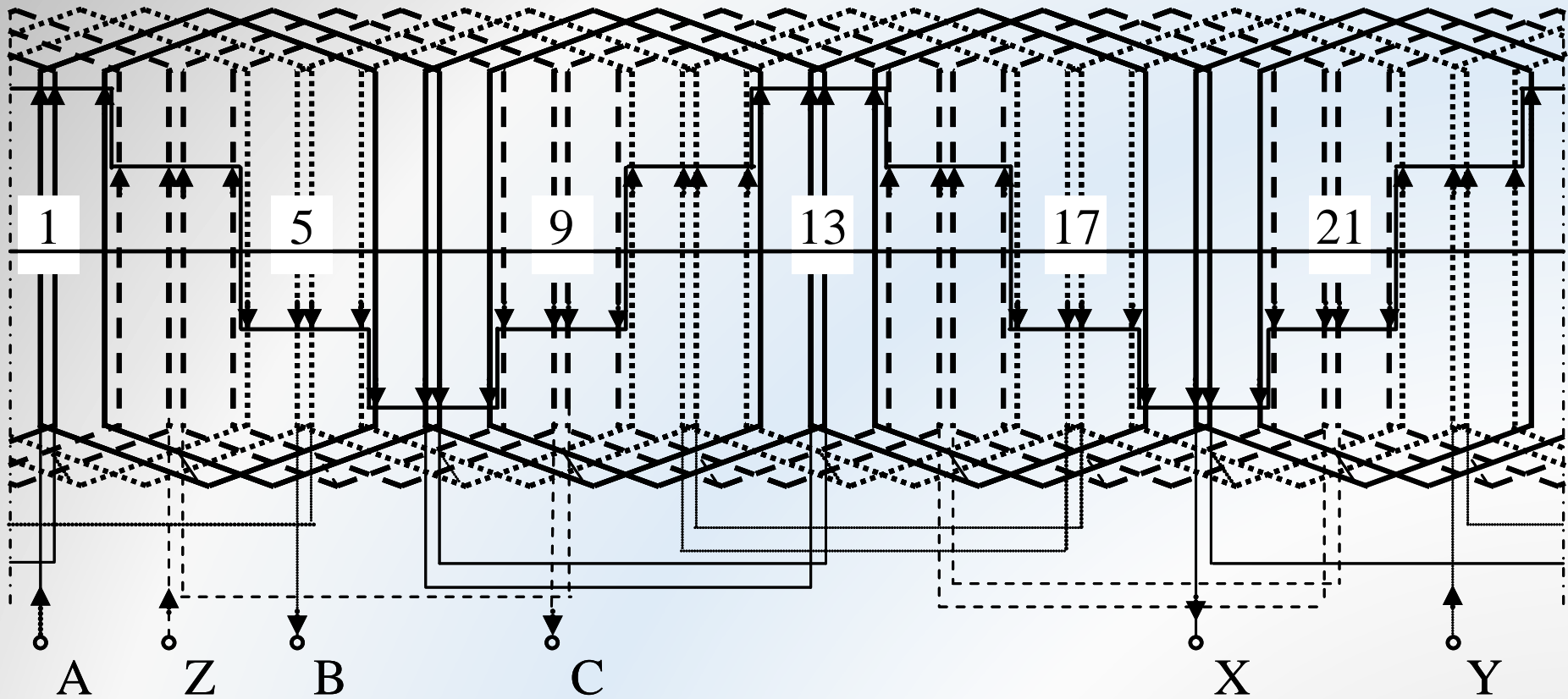
Înfășurare trifazată cu q fracționar (2,5) într-un strat: $Z=30$, $2p=4$
 $Q=30/4=7,5$; $q=30/12=2,5$; $y=\tau=30/4=7,5$

- Întrucât numărul q este fracționar, pe fiecare fază avem două grupuri de bobine cu număr diferit de bobine (3 respective 2);
- Primul grup are pasul de 7 creștături iar cel de-al doilea are pasul de 8 creștături.



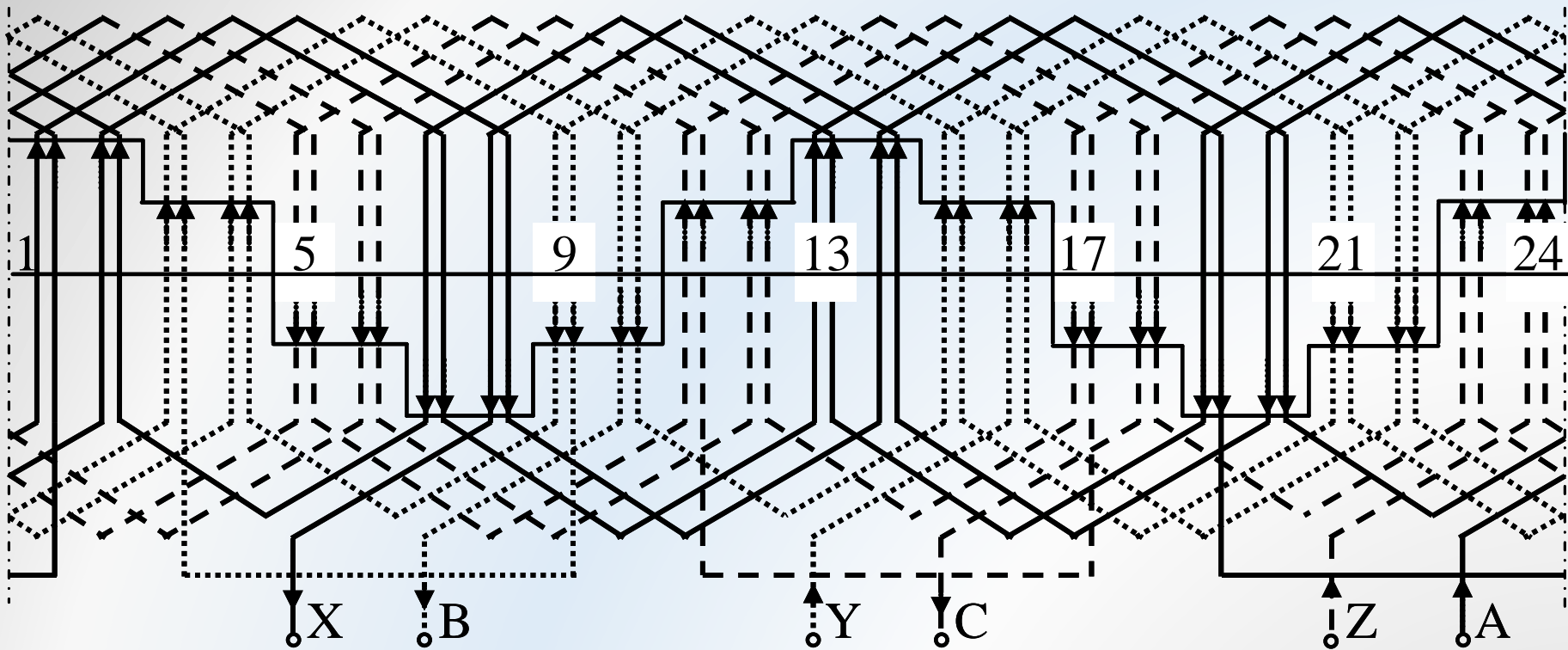
Înfășurare trifazată în 2 straturi cu pas diametral: $Z=24$, $2p=4$

- Înfășurarea în dublu strat are numărul de bobine dublat dar numărul de conductoare în creștătură rămâne același;

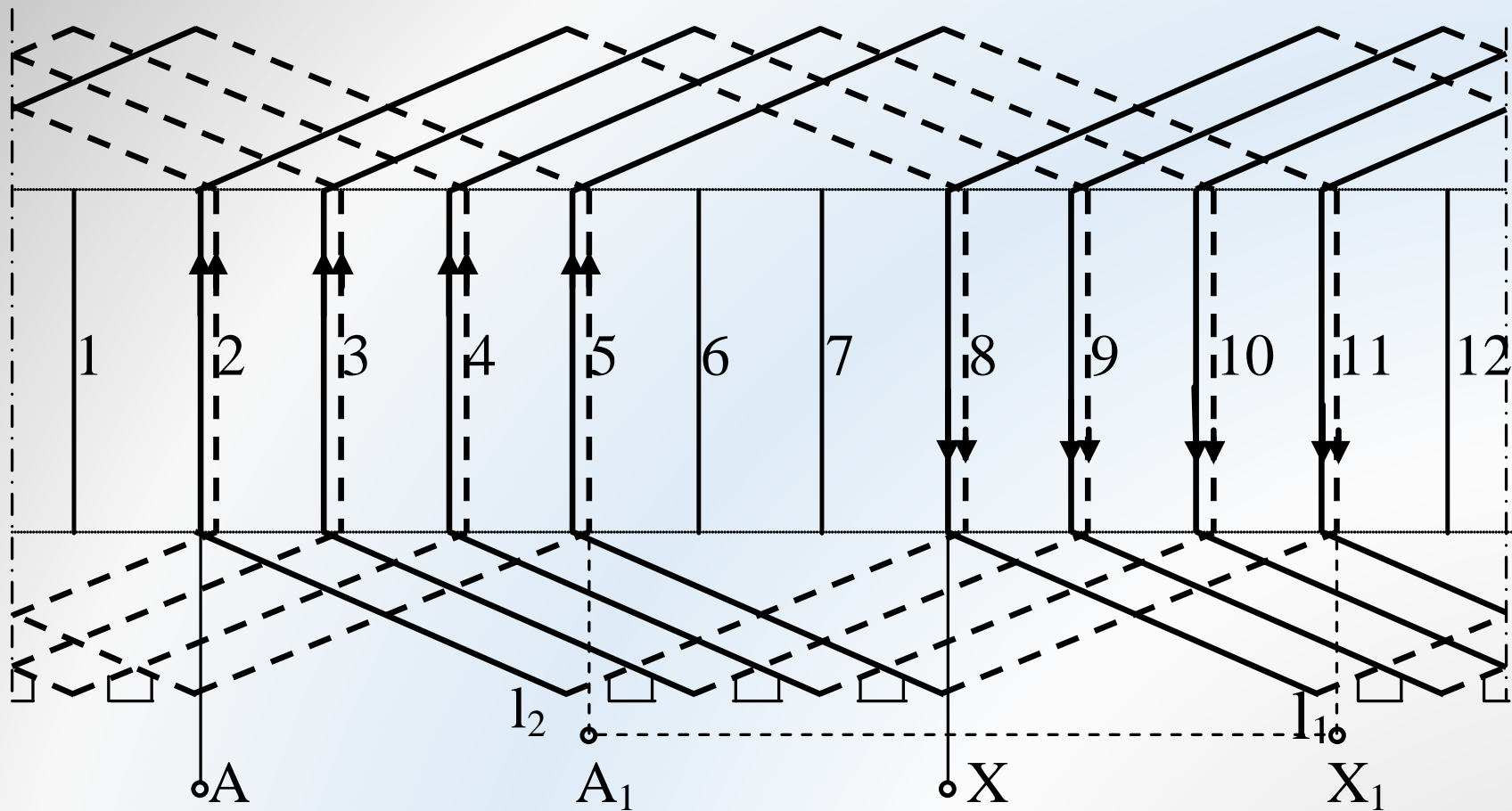


Înfășurare trifazată cu pas scurtat, în 2 straturi: $Z=24$, $2p=4$

- La înfășurările cu pas scurtat, în mod deliberat se scurtează pasul diametral (în acest exemplu $y=5$ în loc de $y=6$);
- Apar creștături ce adăpostesc laturi de bobine aparținând unor faze diferite. Drept urmare, apar curenți de valori diferite, uneori în sens contrar;
- Aceste înfășurări creează câmpuri magnetice în întrefier care au o formă mai apropiată de sinusoidă decât cele create de înfășurările cu pas diametral.
- Înfășurările cu pas scurtat sunt cele mai folosite în construcția mașinilor electrice. Scurtarea pasului cu 1, 2 sau 3 creștături se face după criterii bine stabilite.



Înfășurare trifazată ondulată în bare, pentru rotor: $Z=24$, $2p=4$, $y=6$



Înfășurare monofazătă în dublu strat

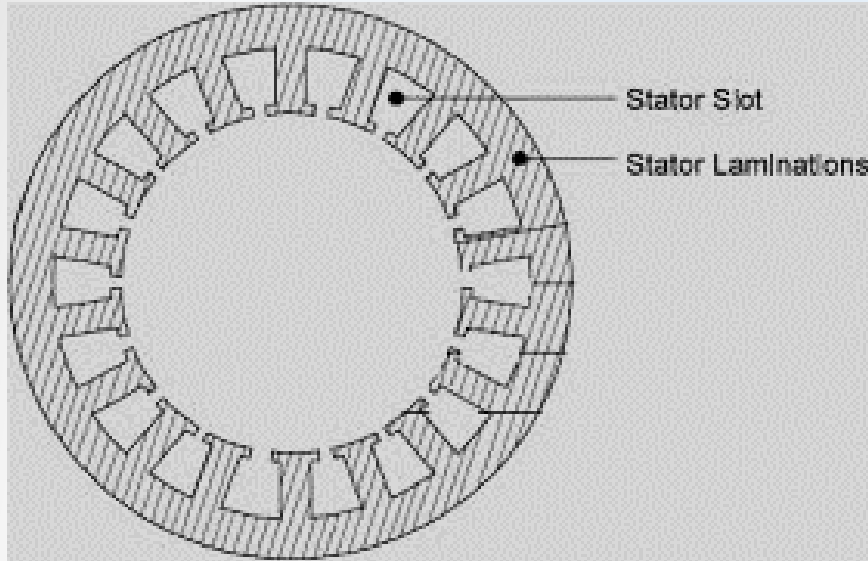
$$y = 12/2 = 6$$

- Înfășurarea monofazătă, utilizată la mașinile asincrone monofazate, ocupă doar 2/3 din creștăturile statorului. Relațiile de calcul sunt identice cu cele folosite la înfășurările trifazate

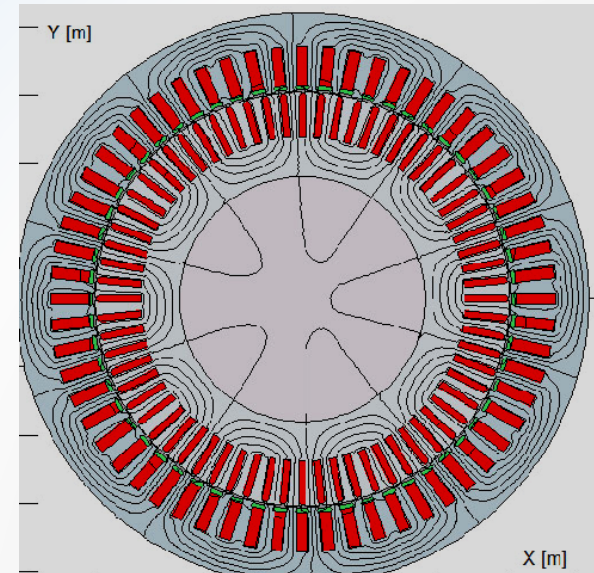
Mașina asincronă

Stator

- $q \geq 2$ – pentru sinusoidizarea curbei inducției în întrefier și diminuarea armonicilor de ordin superior
- $q = \text{nr. întreg}$ (foarte rar $q = \text{fracționar}$ la mașini de putere și turație mică). Dacă $q = \text{fracționar}$ atunci fracțiunea este $\frac{1}{2}$
- Cel mai adesea înfășurarea este în dublu strat (obligatoriu la mașinile cu puteri de peste 10 kW)



Crestături trapezoidale și dinți cu pereți paraleli (pentru conductoare rotunde)



Crestături cu pereți paraleli și dinți trapezoidali (pentru conductoare dreptunghiulare)

Mașina asincronă

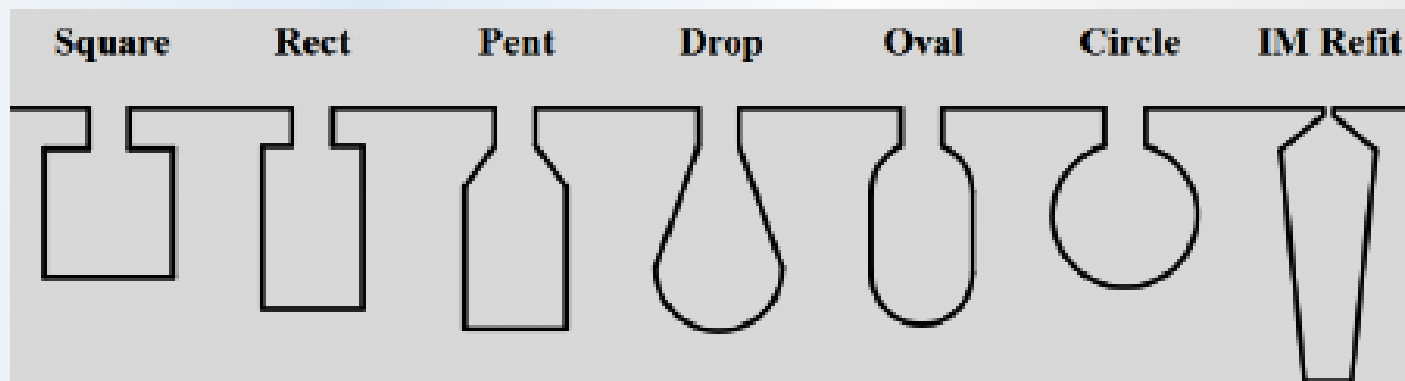
Rotor

- ▶ $q_1 \neq q_2$; $Z_1 \neq Z_2$; $q_2 = q_1 \pm 1$ (la rotor bobinat)
- ▶ $Z_2 = f(Z_1, 2p, \text{tipul crestăturilor} - \text{înclicate sau drepte})$ – la rotor în scurt-circuit

$$Z_1 \neq Z_2$$

$$Z_1 - Z_2 \neq \pm 1; \pm 2; \pm(p \pm 1); \pm(p \pm 2); \pm p; \pm 3p$$

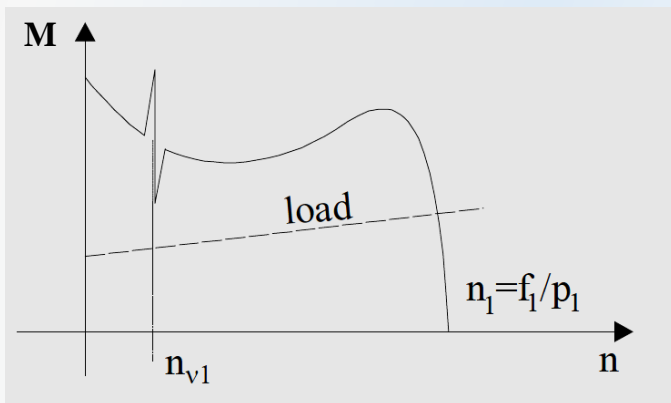
- ▶ $q = \text{nr. întreg}$ (foarte rar $q = \text{fracționar}$ la mașini de putere și turație mică).
Dacă $q = \text{fracționar}$ atunci fracțiunea este $\frac{1}{2}$



Mașina asincronă

Rezultate obținute experimental pe structuri magnetice având diverse valori ale raportului Z_1/Z_2

$2p$	Z_1	Z_2	Consecințe
4	24	16	Nepotrivit: cuplu parazit sincron la 375 rpm
4	24	20	Foarte potrivit
4	24	24	Nepotrivit: cuplu parazit sincron la pornire
4	24	31	Motor foarte gălăgios
4	36	24	Nep practic: cuplu parazit sincron la pornire
4	36	36	Nep practic: cuplu parazit sincron la pornire, pornire imposibila
4	48	28	Nepotrivit: cuplu parazit sincron la 214 rpm
4	48	36	Nep practic: cuplu parazit sincron la pornire, pornire dificila
4	48	48	Nep practic: cuplu parazit sincron la pornire, pornire imposibila



Cuplurile parazite de tip sincron apar pe caracteristica mecanică în zona de funcționare instabilă. Ele se manifestă doar în regimul tranzitoriu de pornire și pot avea ca efect „fixarea” turației la o viteză mult mai mică decât viteza „naturală” de funcționare.

Mașina sincronă

Stator

- Dacă $q \geq 4$ atunci $q = \text{nr. întreg}$ sau $q = \text{fracționar}$
- Dacă $q < 4$ atunci $q = \text{fracționar}$ (suma fazorială a armonicilor superioare este mult diminuată datorită defazării acestora sub poli)

Turbogeneratoare : $q = 6-8$; înfășurare în dublu strat cu pas scurtat

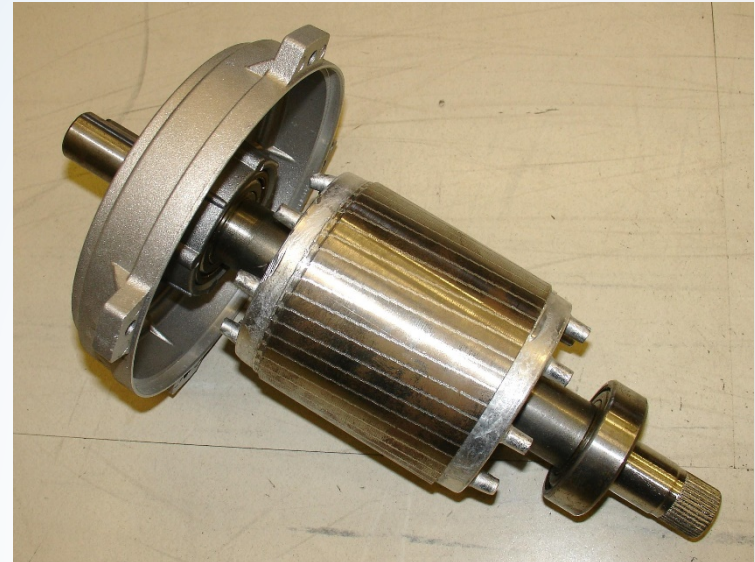
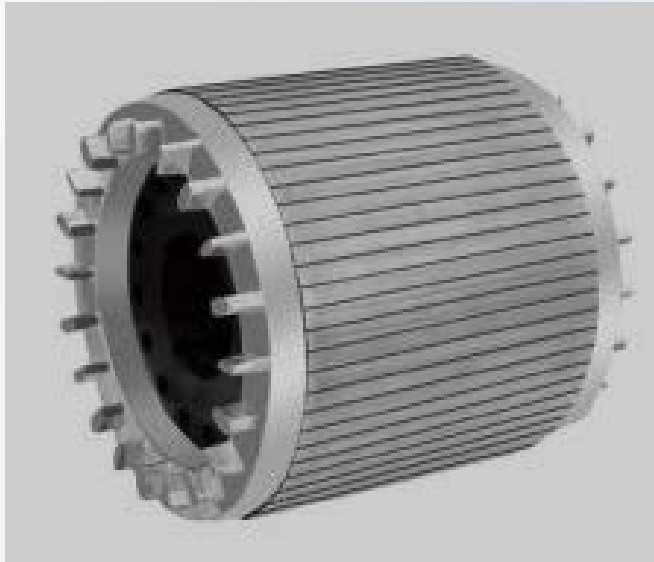
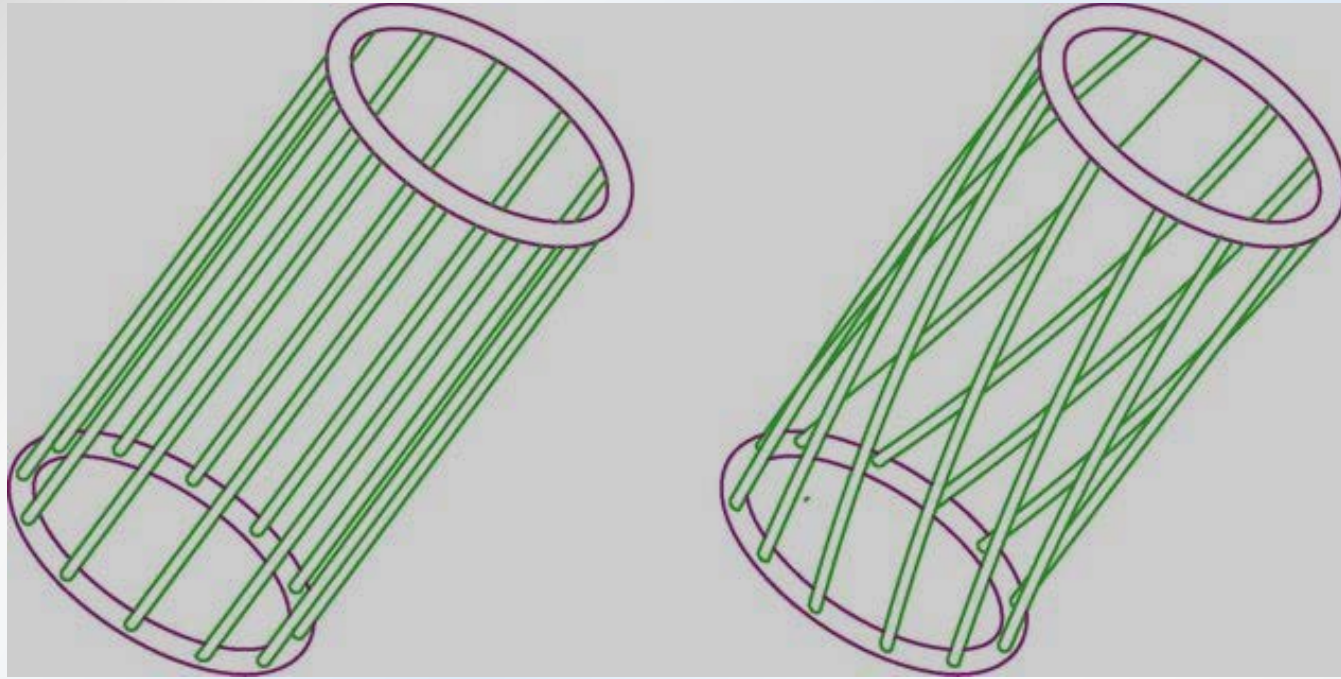
(de regula $y = 0,82 y_{\tau}$)

Hidrogeneratoare: Dacă $q \geq 4$ atunci $q = \text{nr. întreg}$

Dacă $q < 4$ atunci $q = \text{fracționar}$

Înfășurări într-un strat sau în doua straturi

Înfășurare rotorică în scurt-circuit (tip colivie de veveriță)



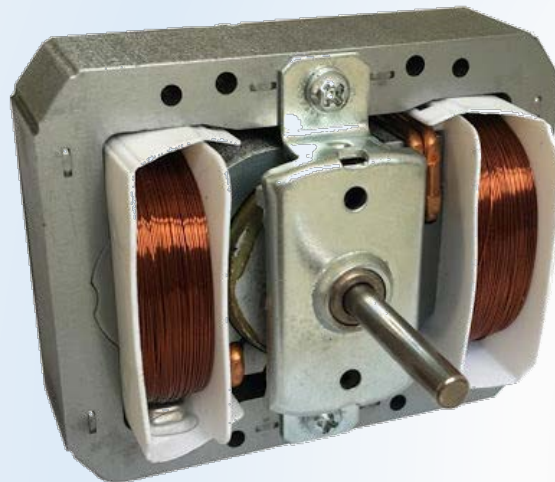
Înfășurare de tip concentrat



Stator mașină sincronă cu magneți permanenți și q fracționar subunitar



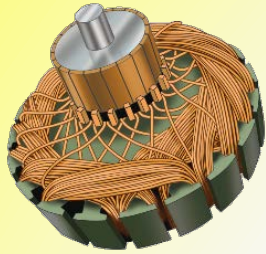
Rotor mașină sincronă cu poli aparenti



Motor asincron cu poli ecranati



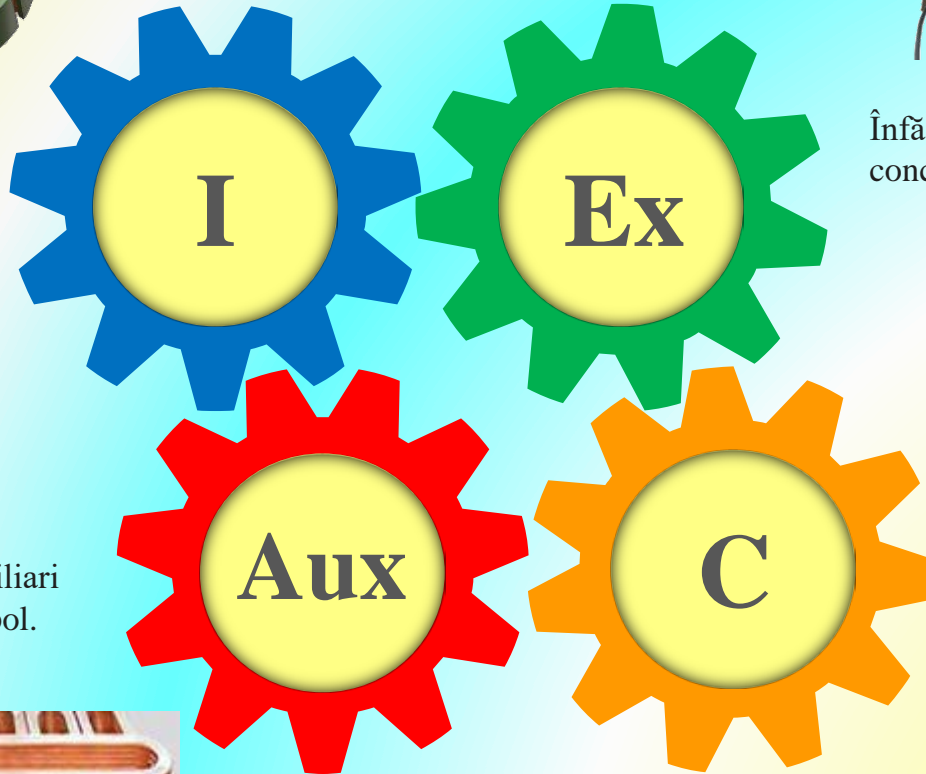
Înfășurări in mașinile de c.c.



Înfășurarea indusului – de tip repartizat in creștăturile rotorului.



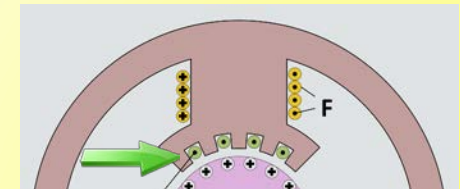
Înfășurarea de excitație – de tip concentrat pe polii principali.



Înfășurarea polilor auxiliari – de tip concentrat pe pol.

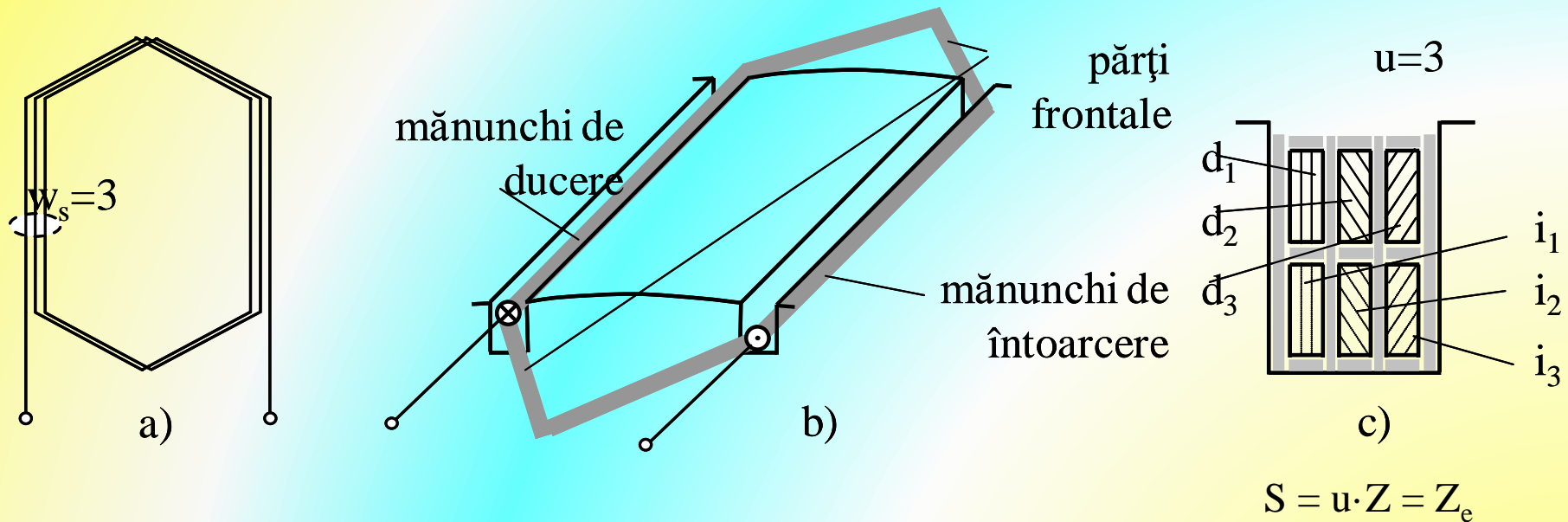


Înfășurarea de compensație - distribuită in creștăturile pieselor polare ale polilor principali.

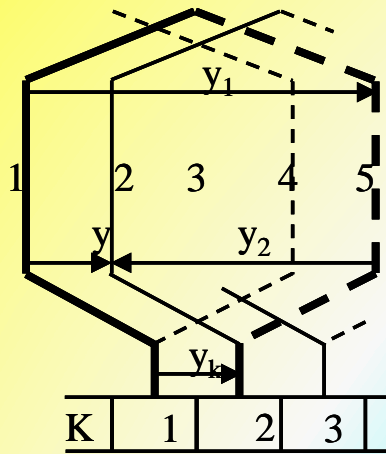


Înfășurarea indusului

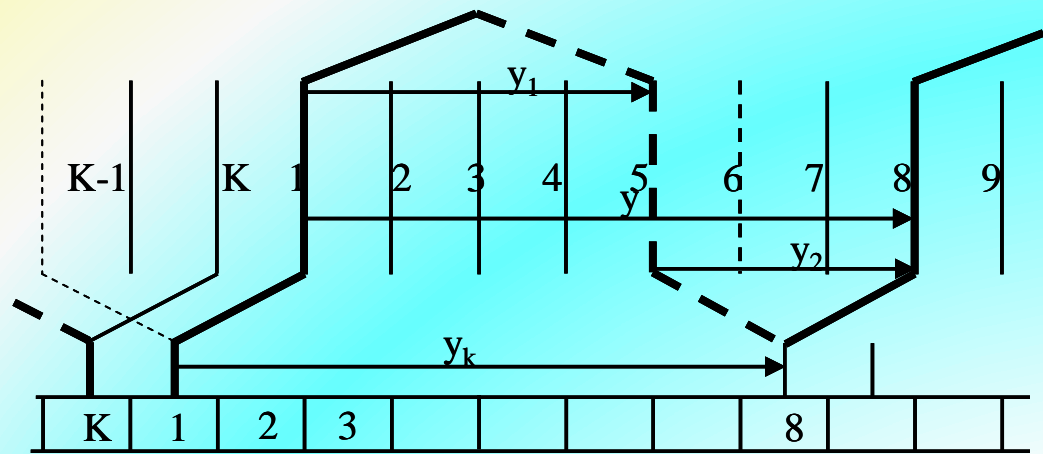
Elemente de construcție a înfășurărilor de c.c.: a) secție compusă din 3 spire înseriate, b) secție introdusă în creștături, c) creștătură fizică echivalentă cu 3 creștături elementare



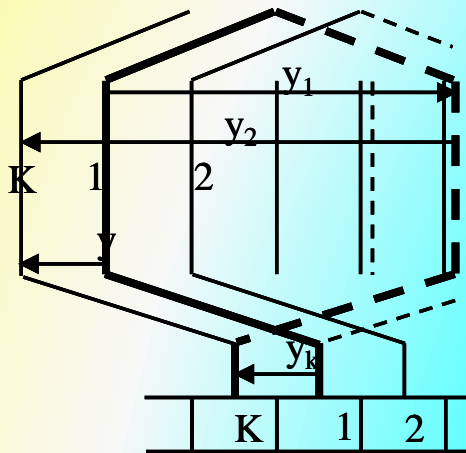
Numărul de secții, S , este egal cu numărul de lamele de colector, K . De regulă, întrucât se dorește un număr cât mai mare de lamele de colector, din rațiuni tehnologice, numărul de creștături rotorice nu poate fi egal cu numărul de lamele. Practic, secțiuni diferite, ce sunt conectate la perechi de lamele diferite, sunt plasate în aceleași creștături rotorice.



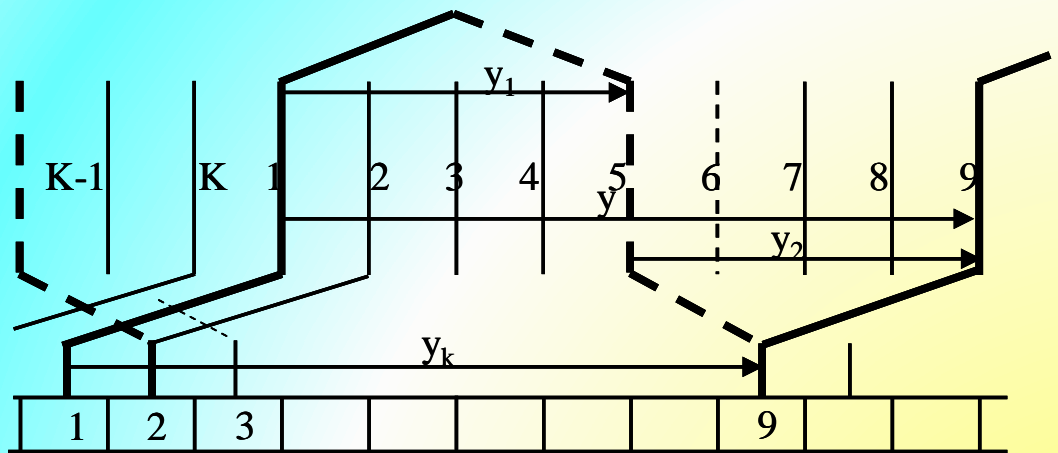
a₁) înfășurare buclată neîncrucișată



b₁) înfășurare ondulată neîncrucișată



a₂) înfășurare buclată încrucișată



b₂) înfășurare ondulată încrucișată

Tipuri de înfășurări: a₁), a₂) - buclate, b₁), b₂) - ondulate

Înfășurare buclată

$$y = y_1 - y_2$$

$$y_1 = \frac{K}{2p} \mp \varepsilon$$

$$2a = 2p$$

Înfășurare ondulată

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = \frac{K \mp 1}{p}$$

$$2a = 2$$

$$K = S = Z_e = u \cdot Z$$

Pasul rezultat: y

Pasul de ducere: y_1 (distanța, în număr de creștături, între latura de ducere și cea de întoarcere a unei secții)





Pasul de întoarcere: y_2 (distanța, în număr de creștături, între latura de întoarcere a unei secții și latura de ducere a secției următoare)

Pasul la colector: $y_k = y$

Principii de alegere a tipului de înfășurare

Tipul de înfășurare este DICTAT de numărul de căi de curent în paralel, $2a$:

$$2a = \frac{I_a}{i_{a \text{ admis}}} \quad \text{unde: } i_{a \text{ admis}} \leq 250 \div 350 \text{ A}$$

1. $2a = 2p$  înfășurare buclată simplă
2. $2a = 2mp$  înfășurare buclată multiplă
3. $2a = 2$  înfășurare ondulată simplă
4. $2a = 2m$  înfășurare ondulată multiplă

$2a$ = numărul de cai de curent în paralel

$m = 1, 2, 3 \dots$

Alegerea numărului de lamele la colector, K

a. Se determină diametrul rotorului, D

b. Se calculează diametrul colectorului, D_k

$$D_k \approx (0,6 \div 0,85)D$$

c. Se alege pasul minim la colector:

$$t_{k \min} \approx (0,4 \div 0,6)cm$$

d. Se calculează numărul de lamele la colector:

$$K = \frac{\pi \cdot D_k}{t_{k \min}}$$

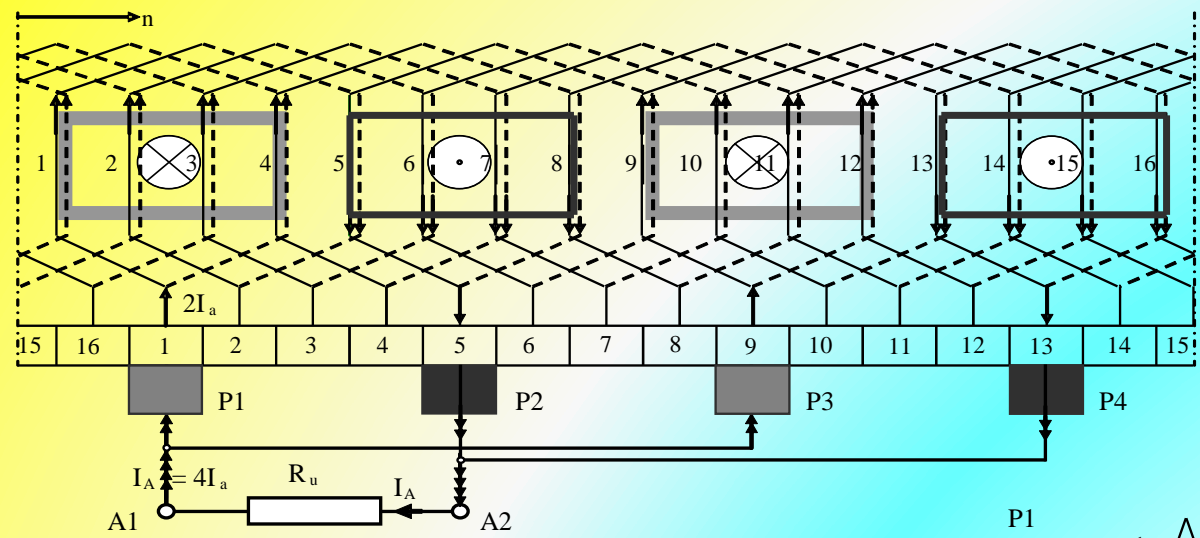
e. Se adoptă K număr întreg astfel încât să obțin:

$$K = \frac{N}{2 \cdot w_s}$$

Alegerea numărului de creștături, Z

$$Z = \frac{K}{u}$$

număr întreg



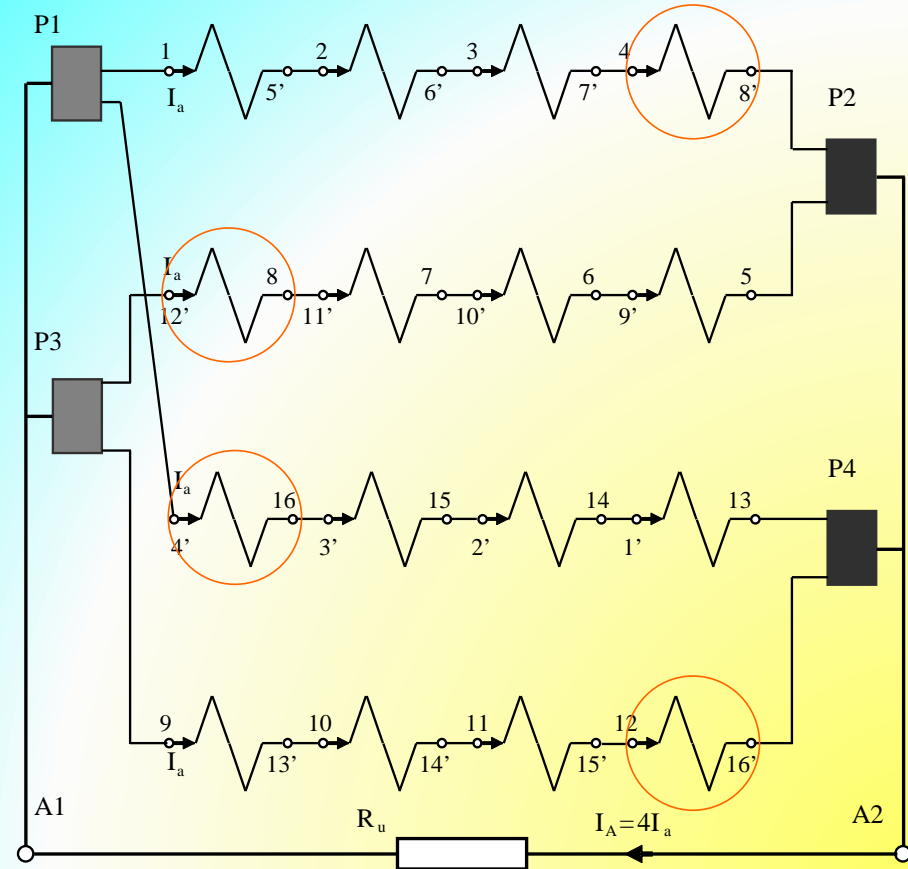
Perii plasate pe lamela
colectorului

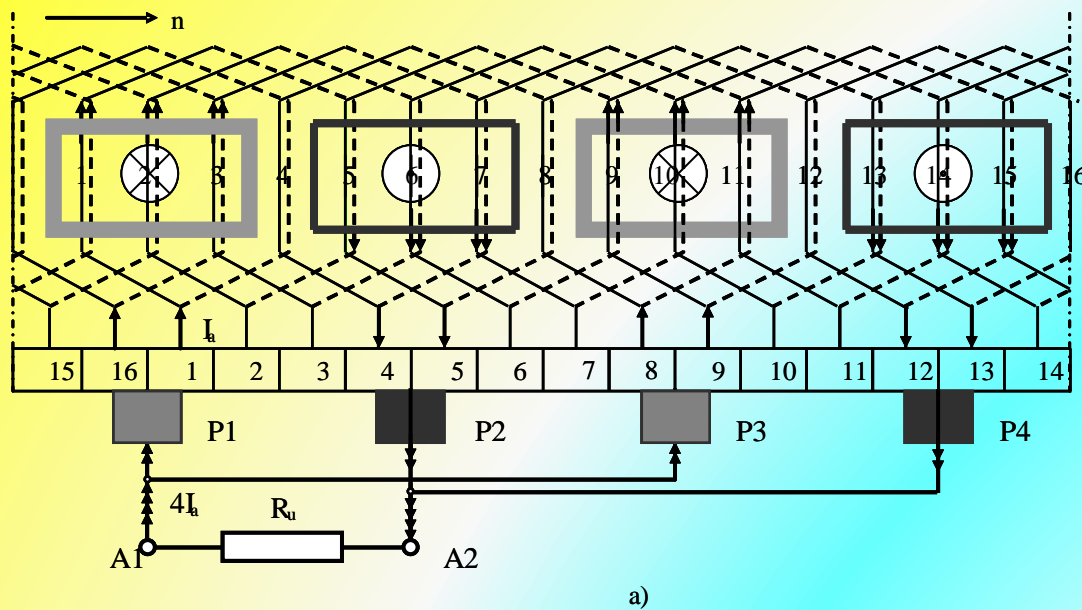
Înfășurare buclată simplă:
 $Z=16=K=S$, $2p=4$ - cu pas diametral

$$y_1 = \frac{K}{2p} = 4$$

$$y = +1$$

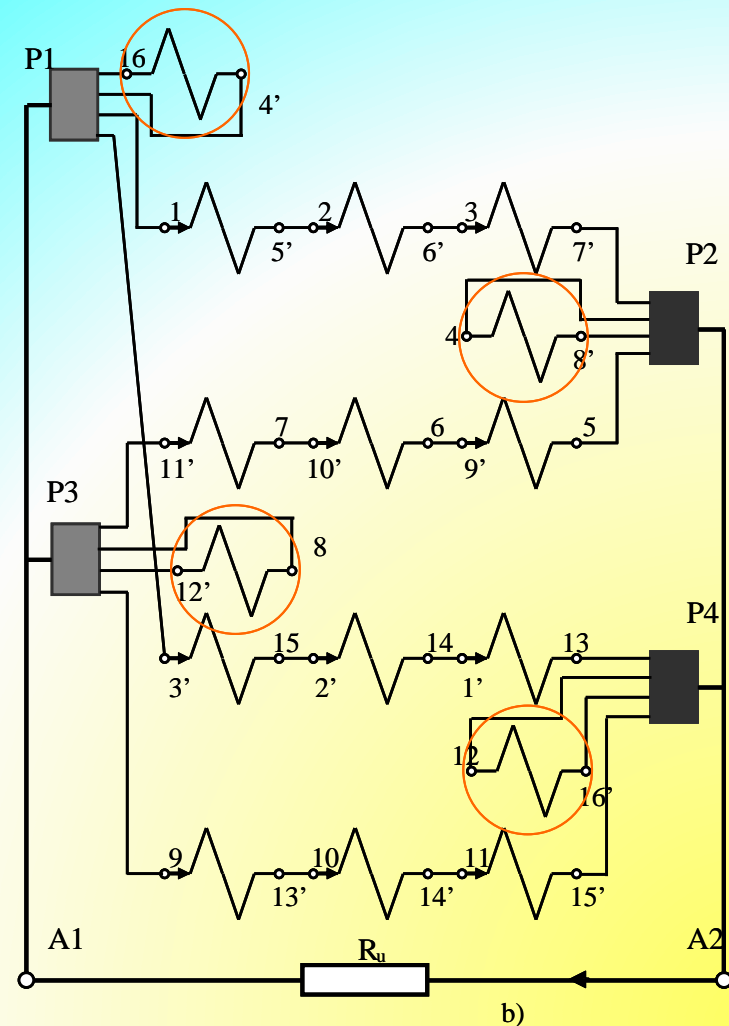
$$y_2 = y_1 - y = 3$$

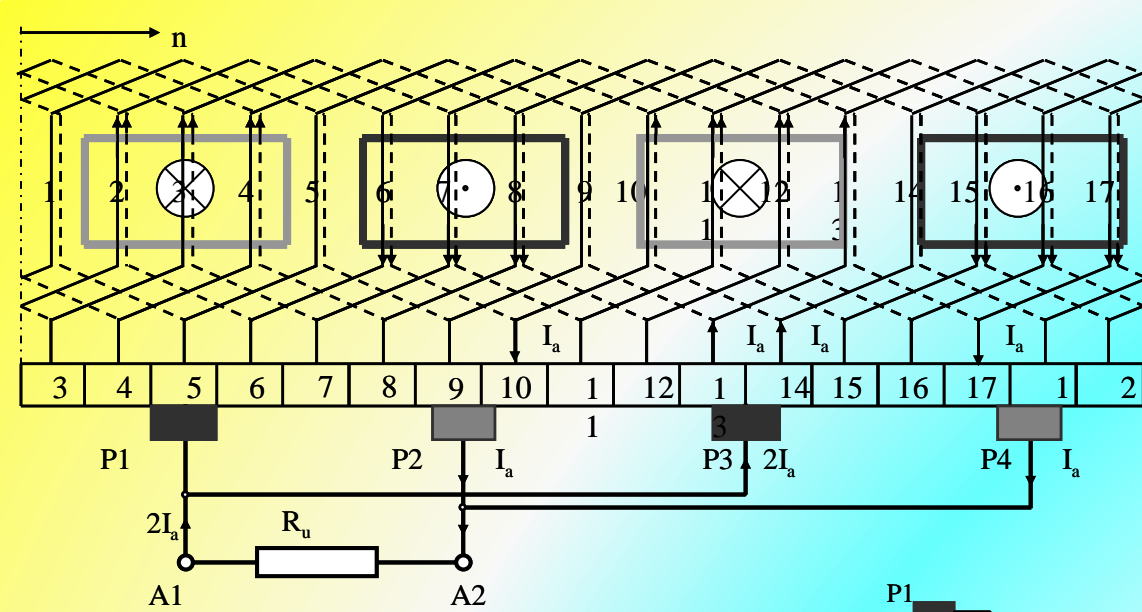




Înfășurare buclată simplă :
 $Z=16=K=S$, $2p=4$ - cu pas diametral

Perii ce scurtcircuita
 lamelele colectorului





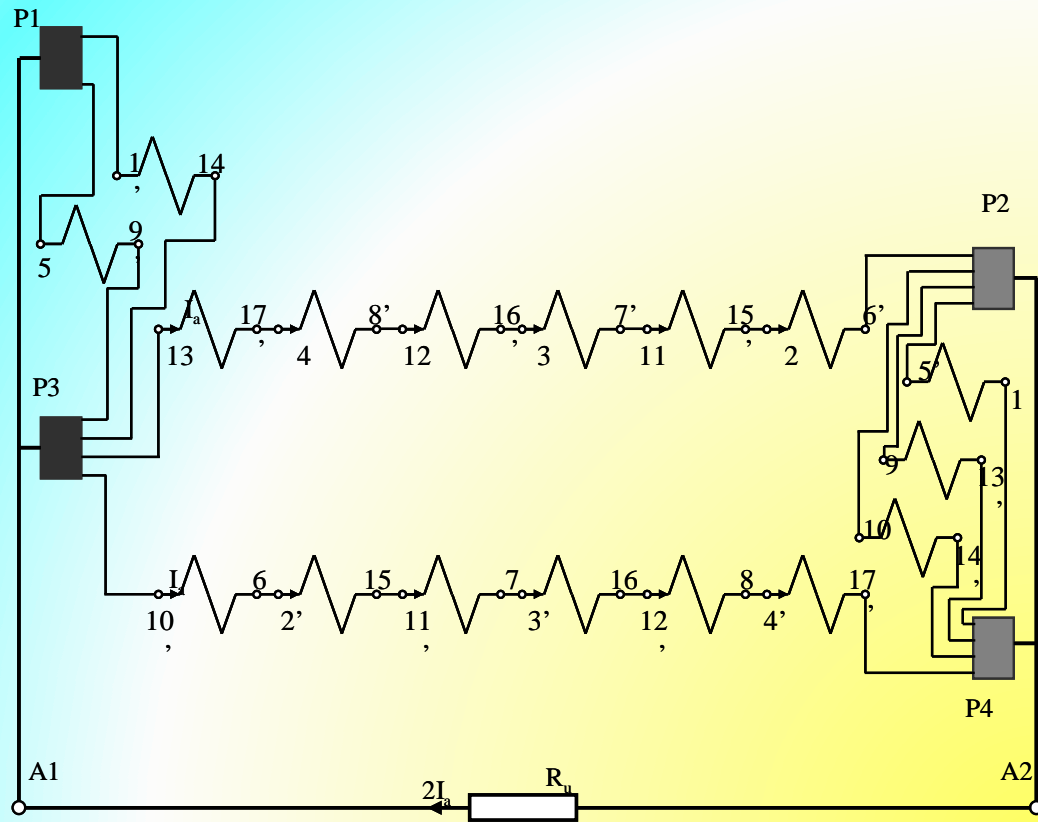
Înfășurare ondulată simplă:

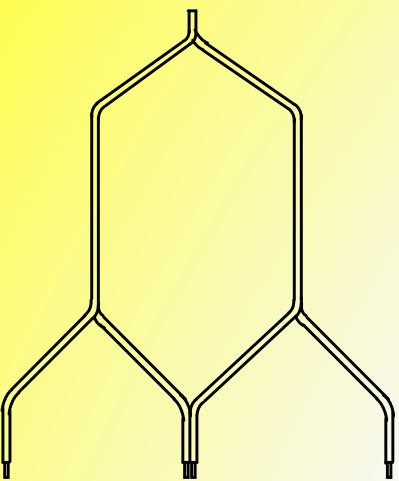
$$Z=17=K=S, 2p=4$$

$$y_1 = \frac{Z}{2p} - \varepsilon = 4$$

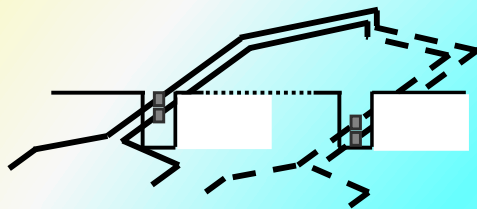
$$y = \frac{K-1}{p} = 8$$

$$y_2 = y - y_1 = 4$$

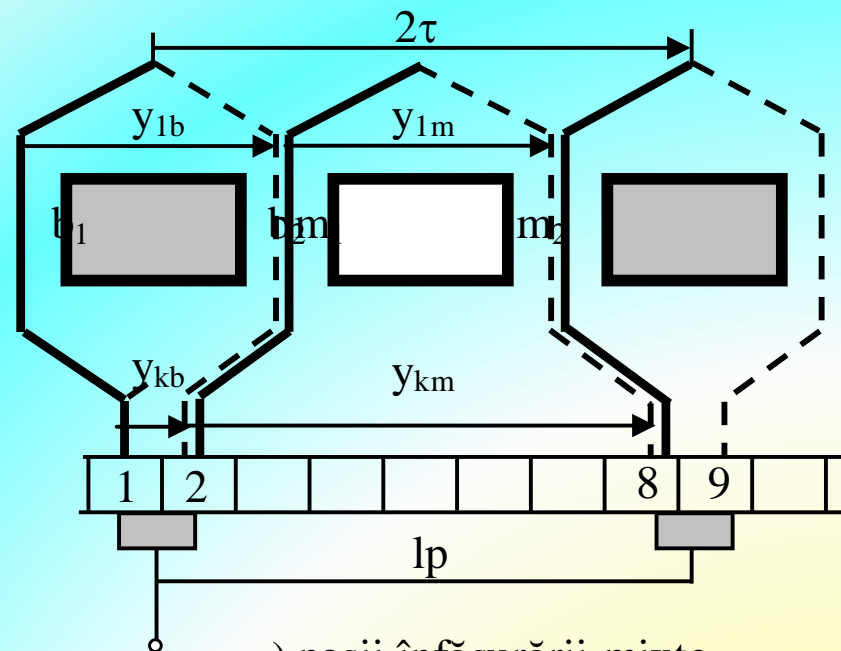




a) secție mixtă -broască



b) plasare în creștături

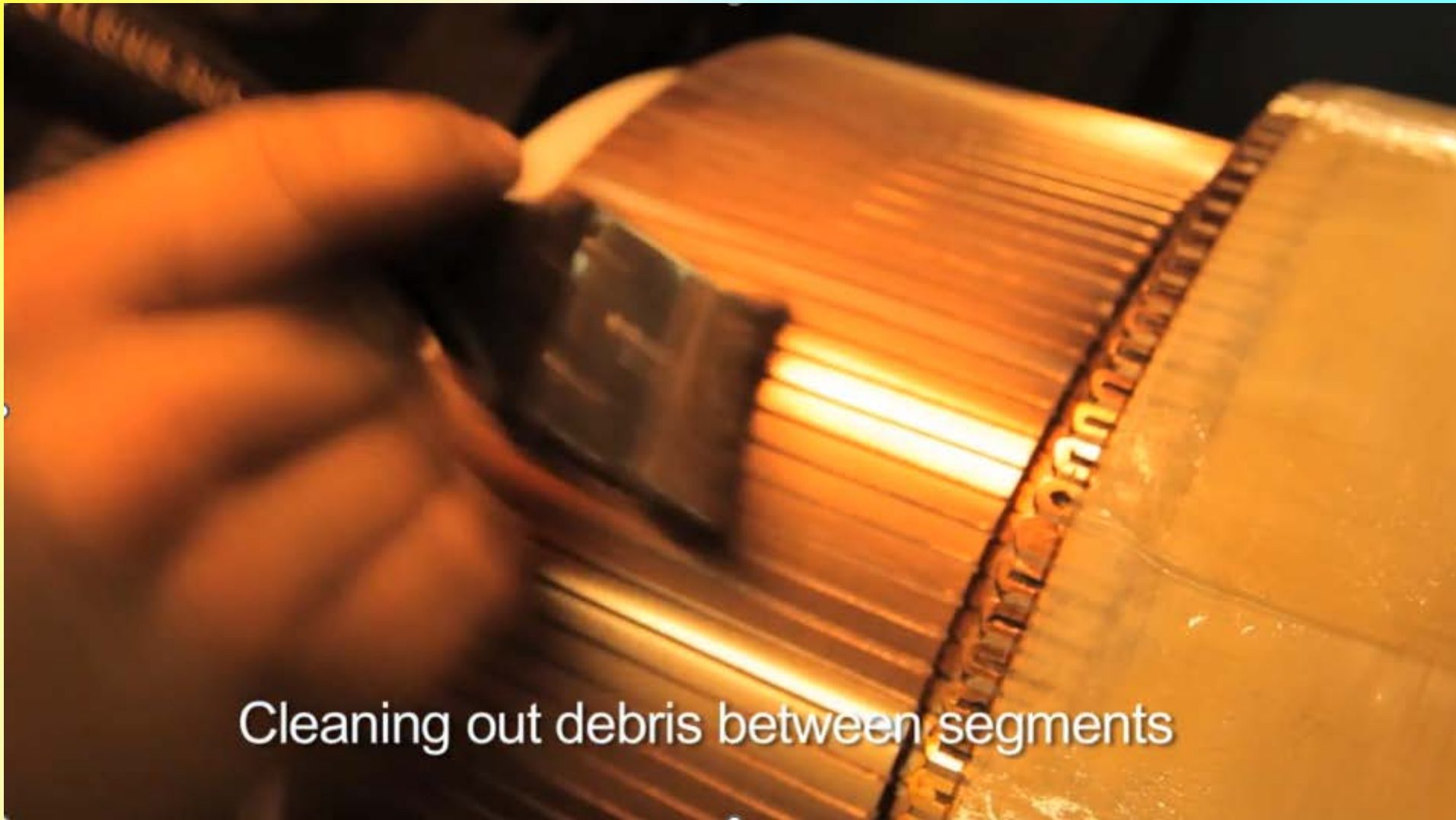


c) pașii înfășurării mixte

Înfășurare mixta

Realizarea înfășurării rotorice la mașina de C.C.





Cleaning out debris between segments

REPAIR OR REPLACE?

A decision model for industrial electric motors
(model decizional pentru motoarele electrice industriale)



REPAIR OR REPLACE?

A decision model for
industrial electric motors

BY CHUCK YUNG & AUSTIN H. BONNETT

Pot înlocui un motor stricat
daca repararea lui ar costa
 $x\%$ din prețul unuia nou?





PREȚ



Timpul necesar înlocuirii sau reparării

Perioada de amortizare

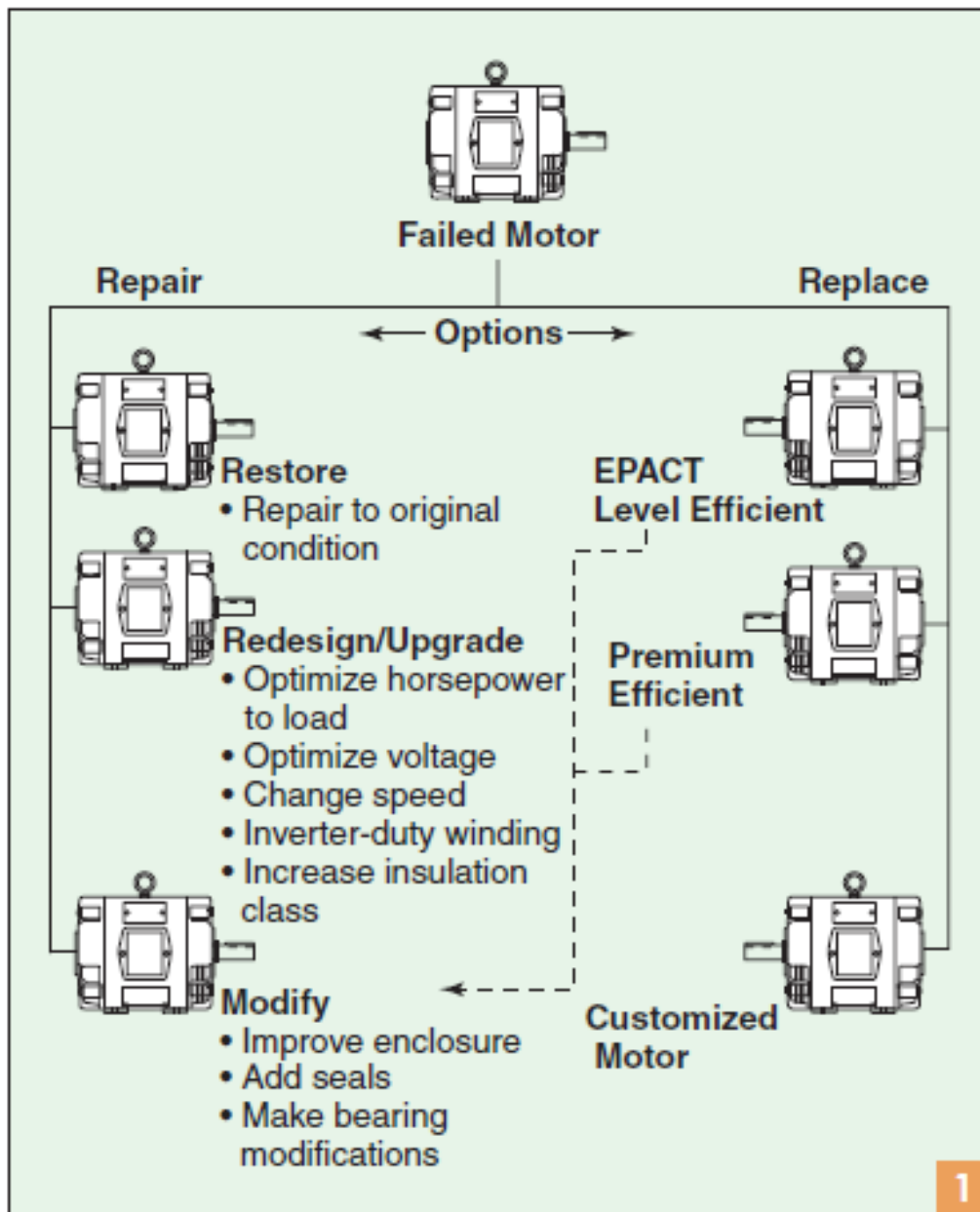
Pierderile cauzate de întrerupere

Oportunități (contracte) pierdute în această perioadă

Posibila pierdere a unor clienți

Oportunitati oferite de înlocuire (reparare)

Model decizional (1)
- recondiționare vs. înlocuire -



The repair-replace decision model.

First step

Identificarea cauzei defectului



APPLICATION CHECKLIST

Voltage

- What is the nominal voltage?
- How much voltage variation is present?
- Is there voltage drop when starting under load?
- Is there nuisance tripping?
- Are there transient peaks?

Environmental factors

- What is the frequency of moisture Ingression?
- What is the frequency of condensation?
- What is the ambient temperature range?
- What other contaminants are present?

Load conditions

- Are there load swings? If so, how wide?
- What is the hp required versus rated hp?
- What is the load—pump, fan, compressor, conveyor?

How is the motor mounted/coupled?

- Direct coupled
- What are the thrust conditions?
- Overhung load
- Describe the motor's mounting.

Starting method

- Across-the-line
- Part-winding start
- Wye start, Delta run
- Soft-start.

Frequency of starting

- What is the running time between starts?
- How many starts per hour / 8-hours / 24-hours?
- Is it a demand system?
- Is it a constant or variable load?
- Describe the cycling.
- Are there load-shedding opportunities?

Describe unusual service conditions

- See Appendix B, NEMA MG 1-1998, 14.3.

Describe the application

- How critical is the operation?
- Is it a dedicated or redundant system?
- What is the availability of spares or backups?
- What are the consequences of shutdown?

History of failures or repairs

- Has the motor been rewound? If so, how many times?
- What is the mean time between failures?

Root cause failure analysis

- What is the cause of failure?
- What can be done to eliminate the cause?
- What is the best method to detect the condition?

Are there similar motors and applications?

Lista de verificare

1. Sistemul de alimentare
2. Factori de mediu
3. Particularitățile sarcinii
4. Cuplajul motor-mașină antrenată
5. Metoda de pornire
6. Frecvența pornirilor
7. Tipul acționării electrice
8. Istoricul defectelor și a reparațiilor
9. Cauzele defectărilor
10. Existența unor motoare similare

Listă de verificare (detaliată)

1. Sistemul de alimentare	- Care este tensiunea nominală; in ce măsura apar variații de tensiune; există căderi de tensiune la pornire; există probleme la pornire; apar vârfuri de tensiune.
2. Factori de mediu	- Care este frecvența apariției umezelii; cat de des apare fenomenul de condens; care este variația temperaturii ambiante; ce alte condiții de calamitate pot apărea.
3. Particularitățile sarcinii	- Apar variații de sarcina (daca da, cat de des); care este diferența dintre puterea necesara si puterea nominala; care este tipul sarcinii (pompa, ventilator, compresor, banda rulanta, etc)
4. Cuplajul motor-mașină antrenata	- Există cuplare directă; cum arată vibrațiile la pornire; este sarcina fixată in consolă; descrierea tipului de prindere a motorului electric (pe fundație, in consolă, etc)
5. Metoda de pornire	- Descrieți tipul de pornire (directa, stea-triunghi, cu soft-starter, etc)
6. Frecvența pornirilor	- Cat timp funcționează motorul intre porniri; care este numărul de porniri (pe ora, pe 8 ore, pe 24 ore); este o acționare necesara; sarcina este constanta sau variabila; descrieți ciclul de funcționare; există posibilitate formarii de rosturi.
7. Tipul acționării electrice	- Cât de importantă este funcționarea; este un sistem dedicat sau redundant; există piese de schimb; care sunt consecințele întreruperii funcționării.
8. Istoricul defectelor si a reparațiilor	- Motorul a mai fost rebobinat (dacă da, de cate ori); care este perioada dintre defectări.
9. Cauzele defectărilor	-Care sunt cauzele defectărilor; ce se poate face pentru eliminarea lor; care este cea mai bună metodă de monitorizare.
10. Existența unor motoare similare	

TABLE 1. SUMMARY OF TYPES OF REPAIRS

Wound stator assemblies

- Recondition
- Rewind
- Modifications
- Redesign (upgrade or optimize)

Rotor assemblies

- Recondition
- Rebar
- Shaft repair or replacement
- Modification
- Redesign (upgrade or optimize)

Bearing system

- Replace
- Lubrication
- Bearing protection
- Modification
- Redesign (upgrade or optimize)

Tipuri de reparații

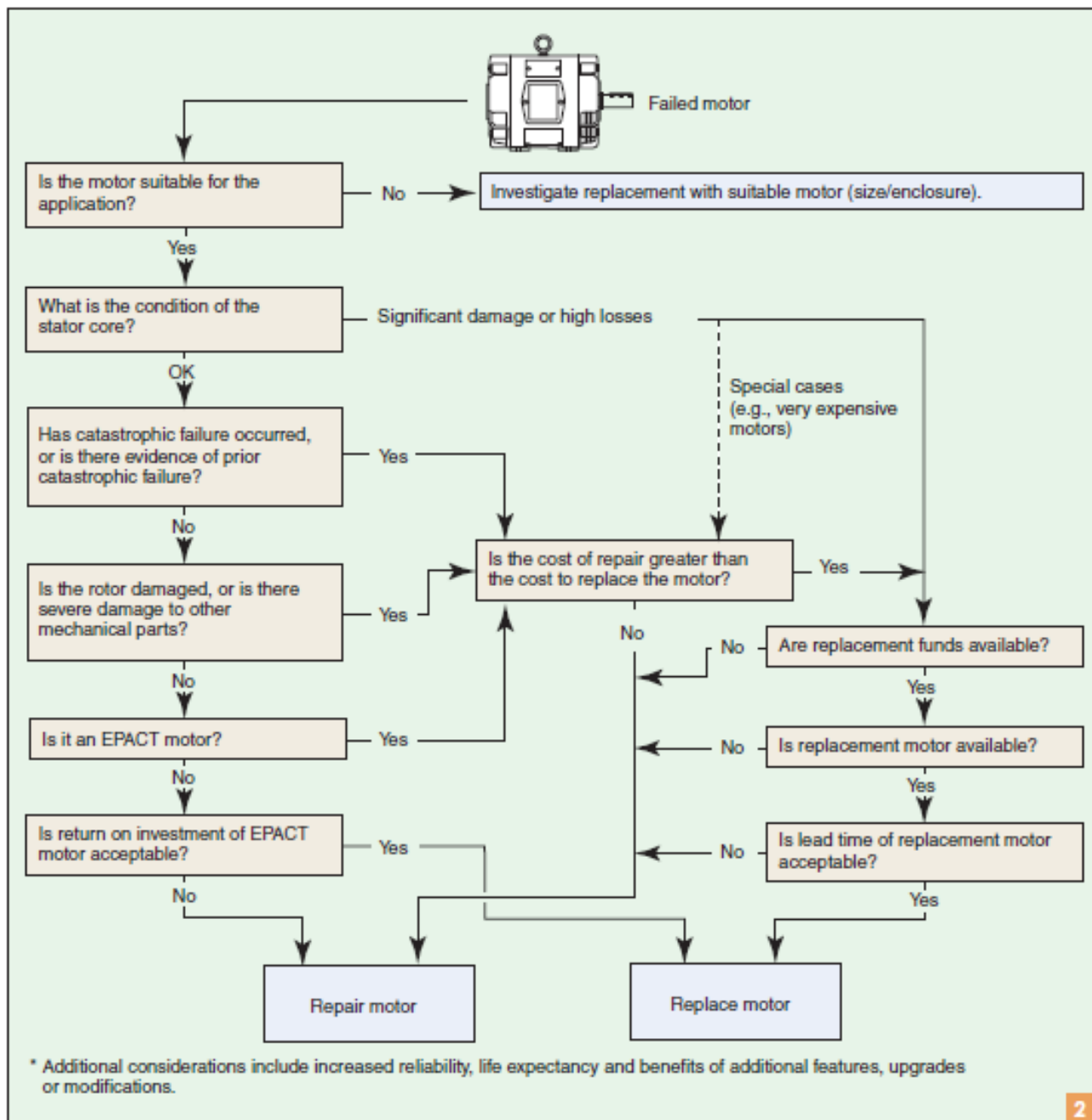
Motor accessories

- Winding
- Bearings
- Outlet box
- Other protection

Mechanical repairs

- Frame
- End brackets
- Shrouds
- Cooling fans
- Outlet boxes
- Others

Model decizional (2)
 - recondiționare vs. înlocuire -



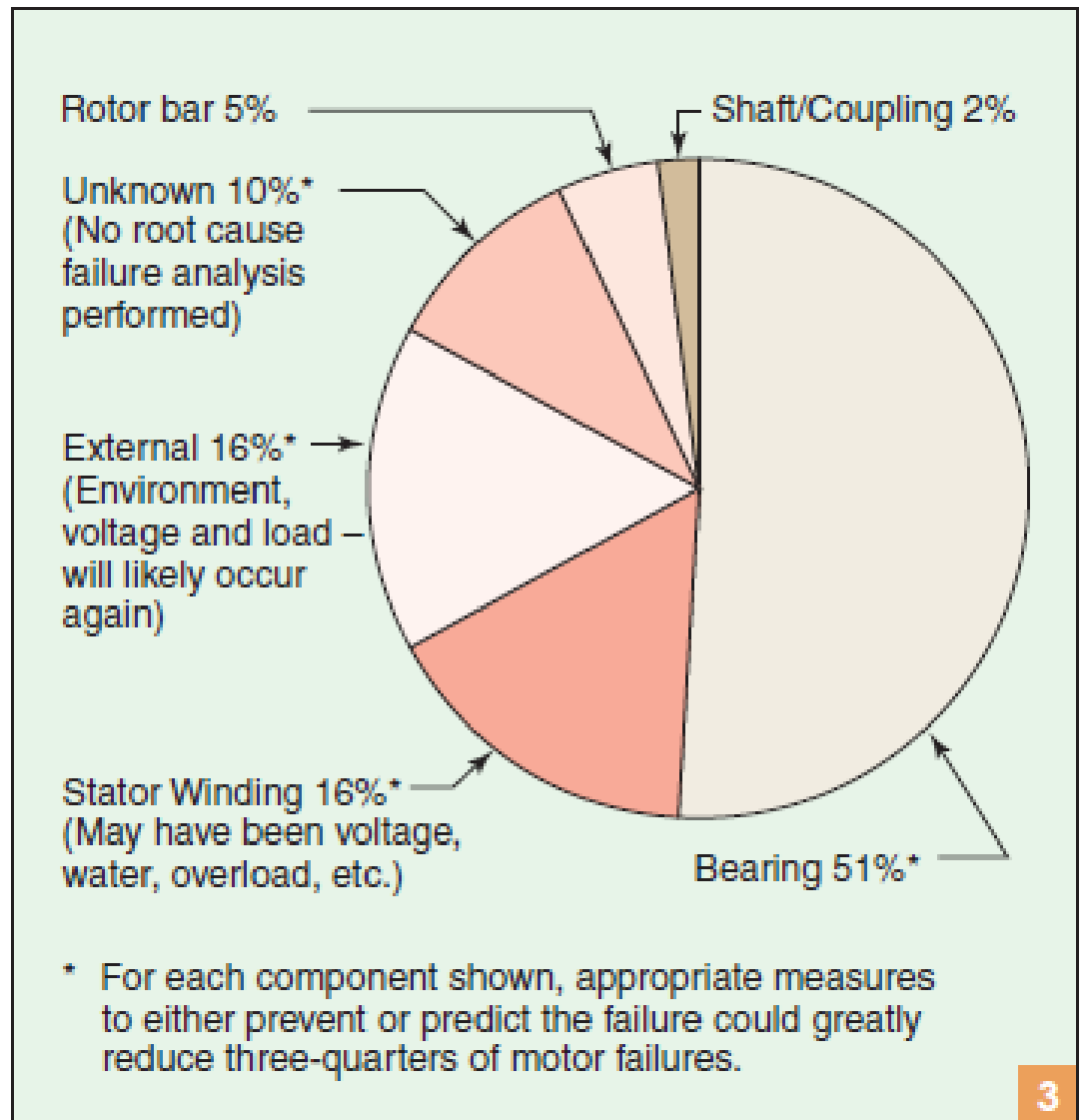
The intuitive decision-making process for most motor failures.

TABLE 2. LEVELS OF REPAIRS.

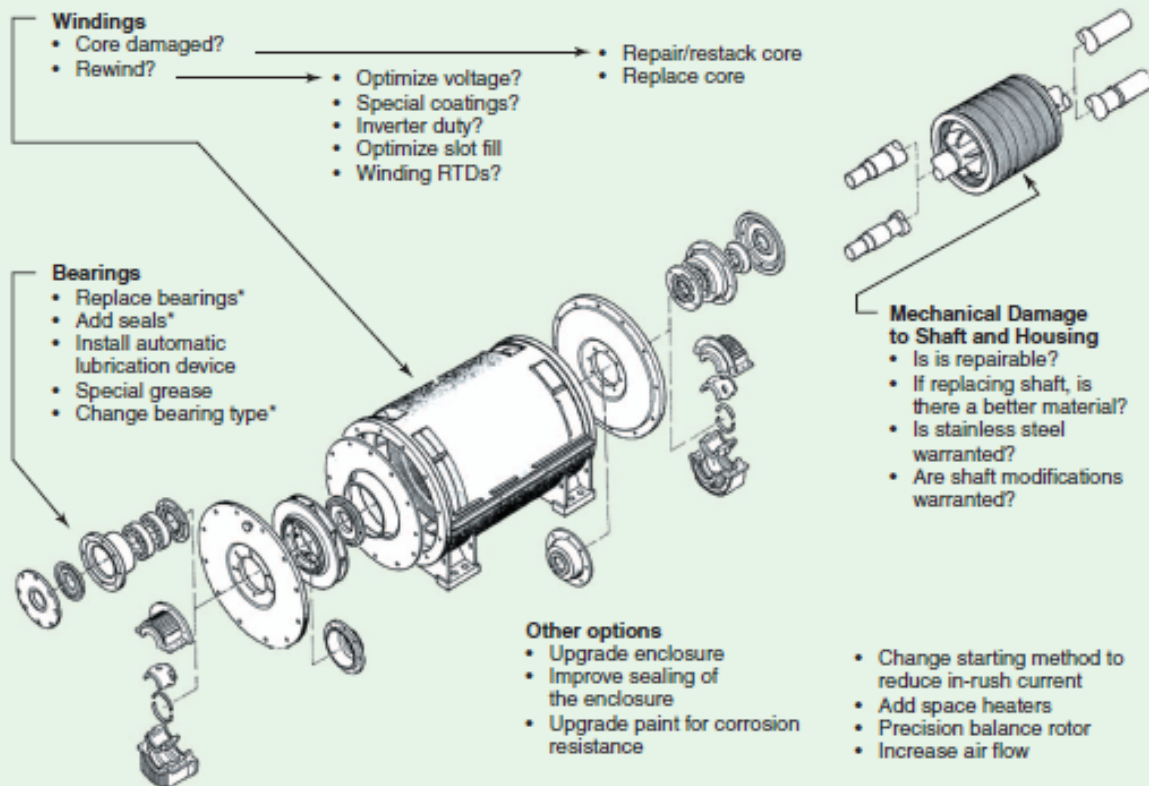
Level 1	Basic reconditioning. Includes replacing bearings, cleaning all parts and replacing lubricant. Also adds seals and other accessories as agreed with customer.
Level 2	Includes Level 1 with the addition of varnish treatment of stator windings, repair of worn bearing fits and straightening of bent shafts.
Level 3	Includes Level 1 as well as rewinding the stator (replacing windings and insulation).
Level 4	Includes rewinding of the stator plus major lamination repair or rotor rebar. May include replacement of the stator laminations or restacking of laminations. Shaft replacement would normally fall into this category. In short, Level 4 involves major repairs that are costly enough to justify examining the option of replacement.
Level 5	Motors that would normally be replaced except for special circumstances faced by the customer (i.e., no spare or unacceptable lead time for a replacement). Level 5 includes misapplied motors, inadequate enclosures and pre U-frame motors. A motor that should be replaced, if not for the owners' inability to operate without it.

As these five levels imply, the damage resulting from a motor failure varies widely as do the associated repair costs. An evaluation process that fails to consider the various levels of "repair" is too simplistic to yield an accurate assessment.

Prevenirea defectelor



Maintenance dollars yield the greatest return when spent on the largest piece of the pie.



Special considerations

Corrosion

- Special paints
- Varnish treatment
- Stainless steel shaft

Moisture

- Special coatings
- Shaft seals
- Seal leads
- Gaskets
- Seal brackets
- Space heaters

Inverters

- Spike-resistant wire
- Higher corona-inception voltage
- Upgrade winding bracing

Heat

- Add RTDs
- Improve fan design
- Heat exchanger
- Upgrade insulation class

Abrasion

- Special energy-absorbing coatings
- Improve wedging
- Upgrade enclosure and add filters

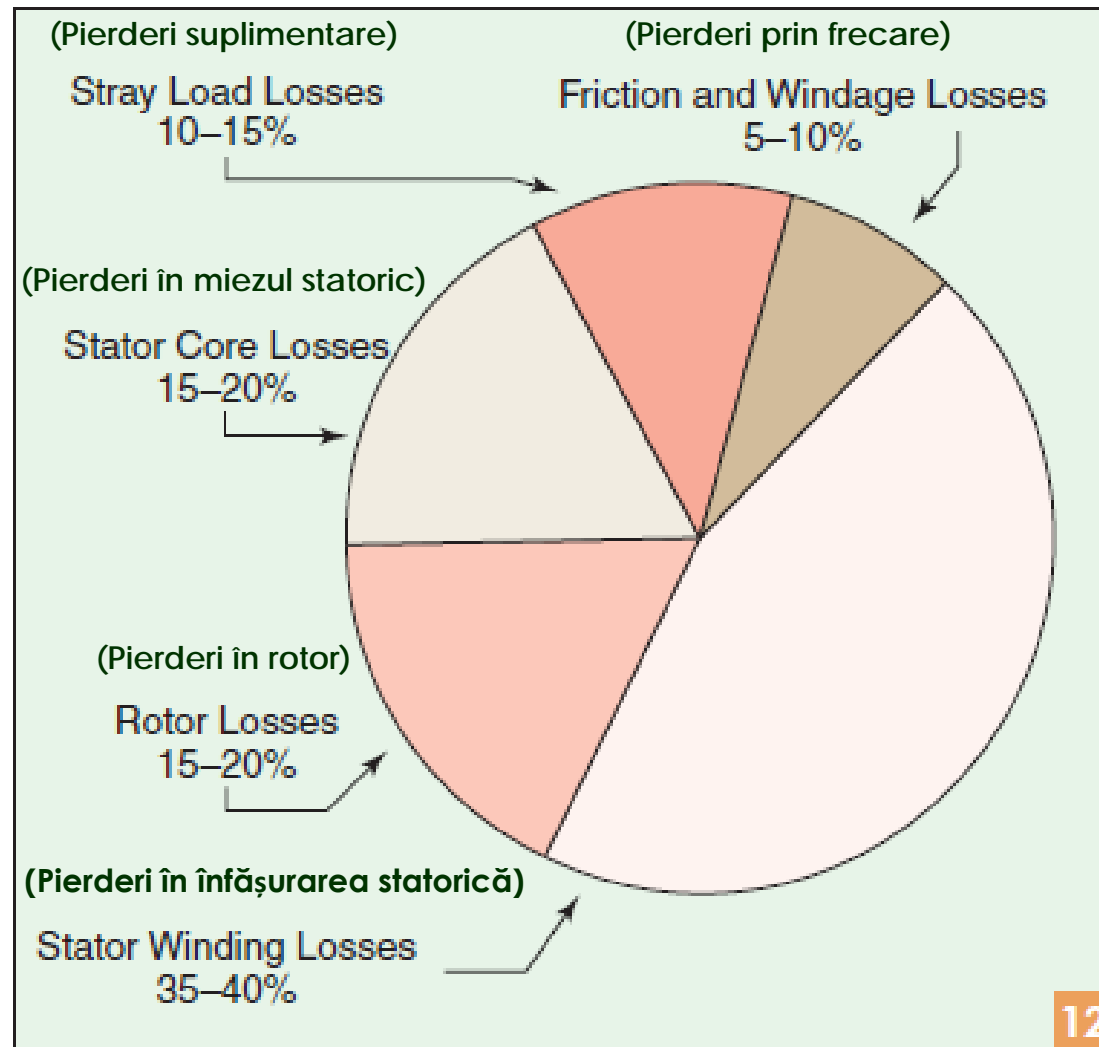
Severe Starts

- Better shaft material
- Stronger shaft design
- Additional winding bracing
- Change starting method

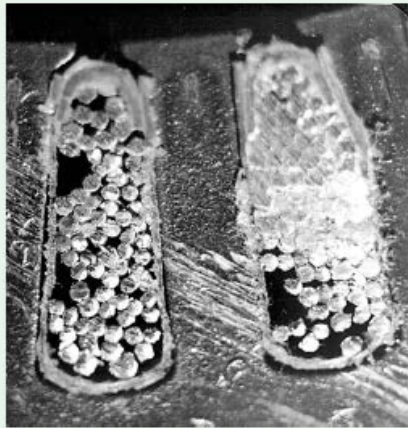
* Adding seals or changing bearing types may affect efficiency.

ILLUSTRATION COURTESY OF SIEMENS AG

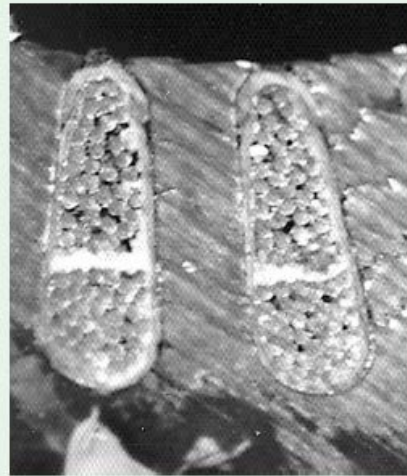
Ponderele pierderilor într-un motor asincron cu 4 poli



Typical breakdown of four-pole motor losses by component.



(a)



(b)

11

Increasing slot fill reduces current density (A/mm²) of the conductor.

TABLE 3. ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT.

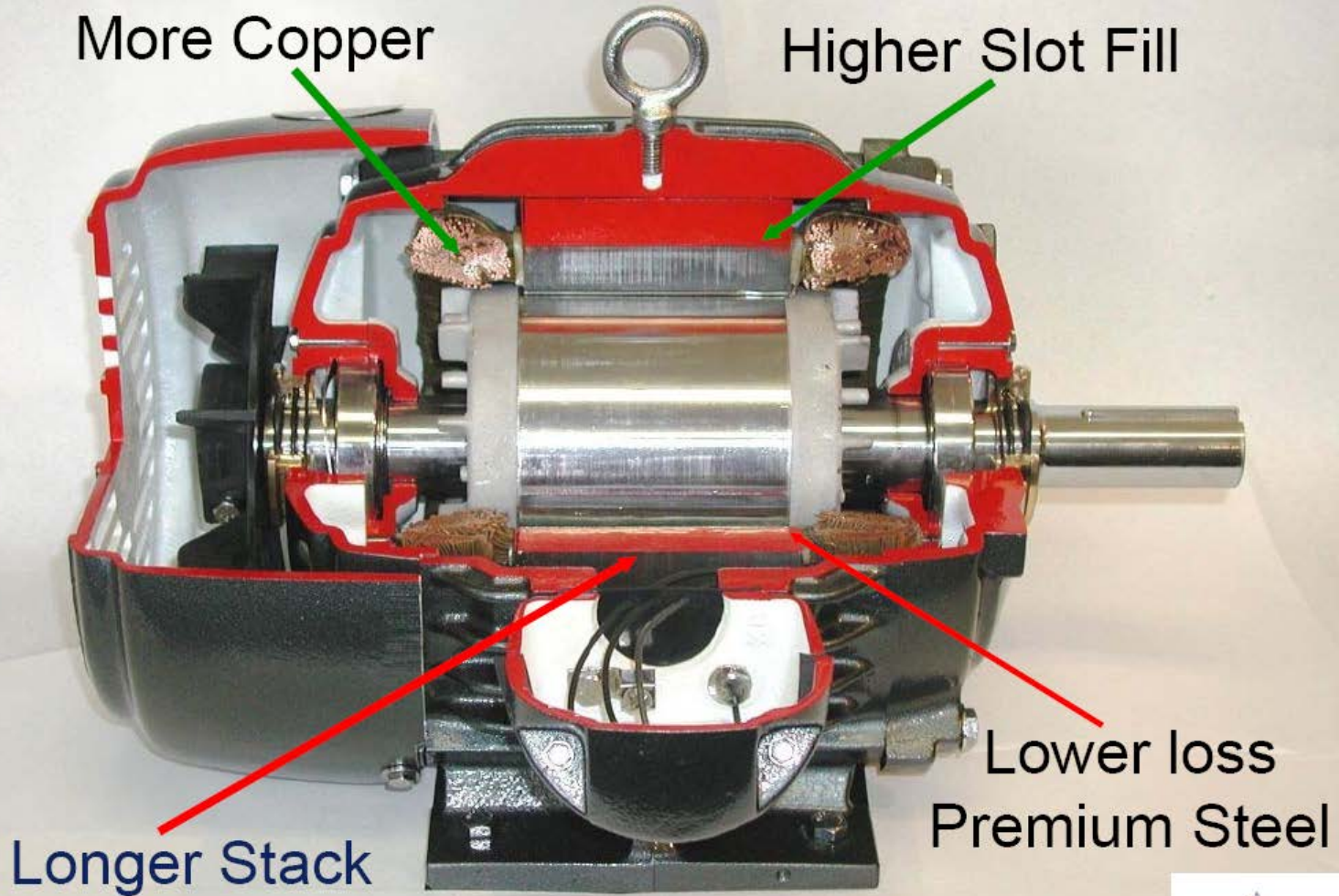
	Horsepower	Winding Type	Space Factor (%)*	Nameplate NNE (%)	Full-Load Efficiency (%)	
Original pre-EPACT	5	2	Machine	43.0	88.5	88.7
Rewound pre-EPACT	5	2	Lap	62.0	90.2	90.8
EPACT Reference	5	2		7	91.	
Original pre-EPACT	0	5	Machine	46.0	91.7	91.6
Rewound pre-EPACT	0	5	Lap	60.0	92.4	92.6
EPACT Reference	0	5			93.	

Typical four-pole, open dripproof, general purpose, T-frame motors of pre-energy efficient design.

$$\text{*Percent space factor} = \frac{\text{Total number of wires per slot} \times \frac{3.14D^2}{4} \text{ of wire}}{\text{total slot area} - \text{area of insulation}} \times 100$$

D = wire diameter

Soluții pentru creșterea randamentului



NEMA Premium



**PIERDERI IN
MAȘINILE ELECTRICE**

Clasificare



1



2



3

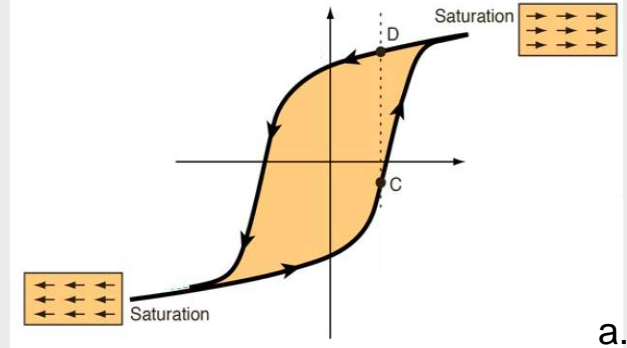


1. Pierderi principale în fier – jug (stator + rotor) + dinți (stator + rotor)

- sunt INDEPENDENTE de sarcină prin urmare CONSTANTE la frecvență și tensiune date

$$p_H = C_H \cdot f \cdot B^2$$

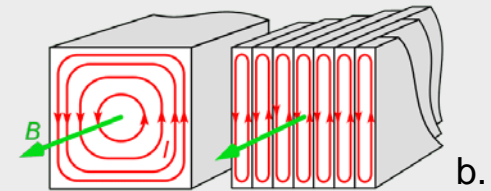
pierderi prin histerezis



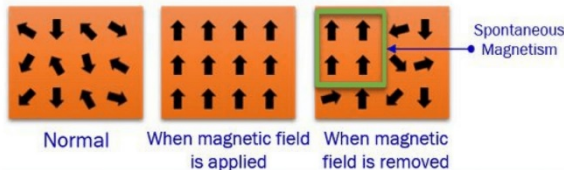
a.

$$p_T = C_T \cdot f^2 \cdot B^2$$

pierderi prin curenți turbionari



b.



Pierderile prin histerezis reprezintă „energia” necesara magnetizării alternativ a materialului feromagnetic și sunt proporționale cu suprafața ciclului de histerezis (fig. a).

Pierderile prin curenți turbionari se datorează câmpului magnetic alternativ care „induce” în materialul feromagnetic curenți (fig. b). Pentru diminuarea lor se recurge la construirea miezului feromagnetic din tole. In felul acesta scade secțiunea respectiv crește rezistența circuitului de închidere.

Pierderi în fier

Pierderile în fier se calculează, de regulă, într-o formă globală fără a fi diferențiate pe cele două componente. Pentru aceasta este necesar să se cunoască „pierderile specifice” corespunzătoare materialului folosit pentru realizarea circuitului magnetic. Acestea se găsesc în cataloagele de material ale producătorului.

Este indicat ca pierderile specifice să corespundă unor valori cât mai apropiate ale inducției din materialul magnetic și frecvenței curenților din înfășurare (de ex. $p_{10/50}$ sunt pierderi specifice calculate la 1T și 50 Hz. Valori mai mari ale inducției și frecvenței duc la creșterea valorii pierderilor specifice).

$$P_{j-s,r} = k_j \cdot p_{j-s,r} \cdot G_{j-s,r} \quad [W]$$

$$k_j = 1,3 - 1,5$$

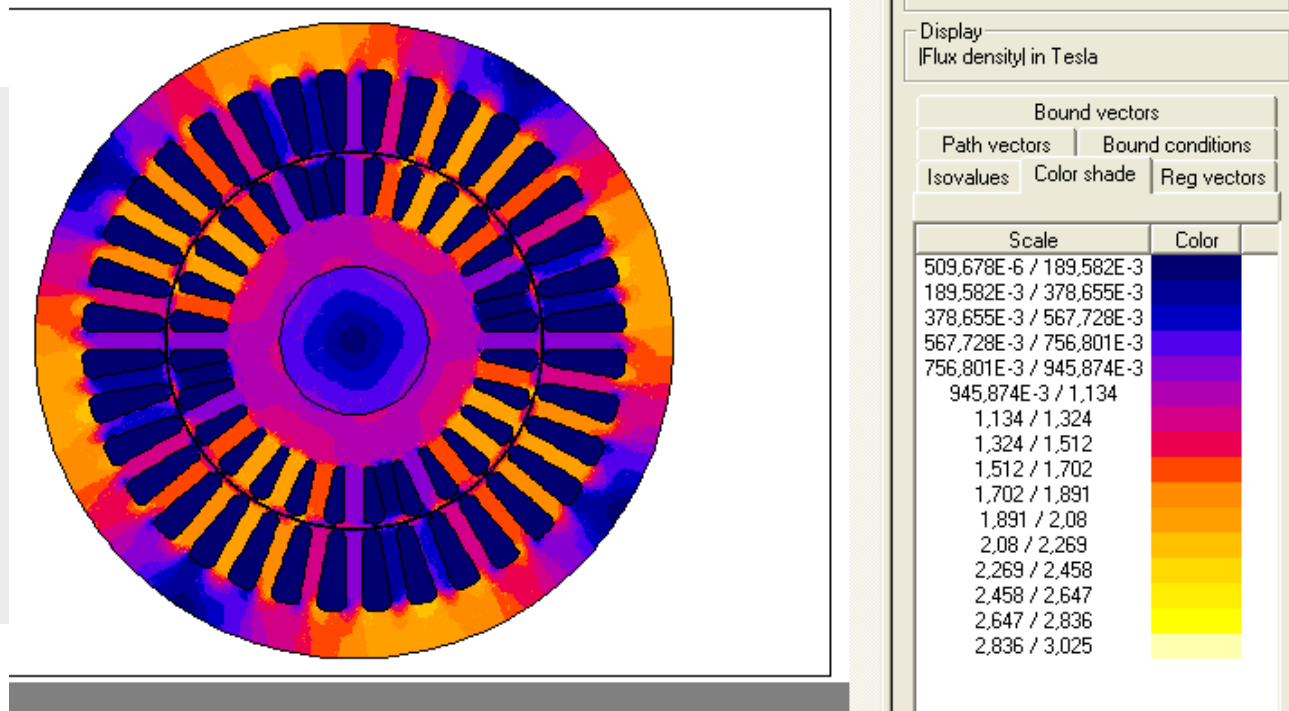
$$p_{j-s,r} = p_{10/50} \left(\frac{f_{s,r}}{50} \right)^{1,3} B_{j-s,r}^2 \quad [W / kg]$$

$$P_{d-s,r} = k_d \cdot p_{d-s,r} \cdot G_{d-s,r} \quad [W]$$

$$k_d = 1,8$$

$$p_{d-s,r} = p_{10/50} \left(\frac{f_{s,r}}{50} \right)^{1,3} B_{dmed-s,r}^2 \quad [W / kg]$$

Distribuția inducției într-o secțiune transversală a unei mașini asincrone funcționând la o anumită sarcină



Metodele numerice de calcul permit determinarea exactă a pierderilor în fier în funcție de încărcarea circuitului magnetic. Metodele analitice, folosite pentru determinarea preliminară a pierderilor în fier, folosesc mărimi medii ale inducțiilor.

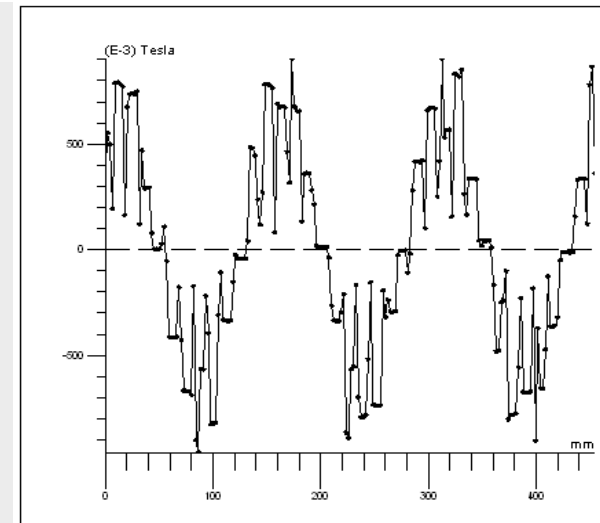
2. Pierderi suplimentare în fier:

- la gol
- în sarcină – apar ca urmare a reacției indusului în plus față de cele la gol

A. La gol

a. De suprafață

- apar pe suprafața unei armaturi atunci când cealaltă armatură este crestată
- se datoresc pulsațiilor inducției magnetice în întrefier datorită existenței creștăturilor
- micșorarea lor se face prin micșorarea istmului creștăturilor





Mașini de CC și mașini sincrone cu poli aparenti – pe suprafața pieselor polare

$$P_{\text{sup } r\text{-gol}} = 2 \cdot p \cdot \tau \cdot \alpha_p \cdot l_p \cdot p_{\text{sup } r} \quad \text{unde} \quad p_{\text{sup } r} = k_0 \left(\frac{Z \cdot n}{10000} \right)^{1,5} (10 \cdot B_0 \cdot t_1)^2 \quad [W / m^2]$$

Mașini asincrone și sincrone cu poli înecați

$$P_{\text{sup } r\text{-s},r} = 2p \left(\frac{t_{s,r} - a_{s,r}}{t_{s,r}} \right) \tau \cdot l_{Fe} \cdot k_{Fe} \cdot p_{\text{sup } r\text{-s},r} \quad \text{unde} \quad p_{\text{sup } r\text{-s},r} = 0,5k_0 \left(\frac{Z_{r,s} \cdot n}{10000} \right)^{1,5} (10 \cdot B_0 \cdot t_{r,s})^2 \quad [W / m^2]$$

b. Pierderi de pulsație in dinți (pierderi de volum)

- se produc NUMAI când ambele armaturi sunt crestate datorită variației fluxului în dinte ca urmare a modificării reluctanței magnetice dată de prezența crestăturilor pe CEALALTĂ armatură

$$P_{puls-s,r} = k_0' \left[\frac{Z_{r,s} \cdot n}{10000} \cdot 10 \cdot B_{puls-s,r} \right]^2 G_{d-s,r}$$

unde $k_0' = 0,1$ este un coeficient empiric



B. In sarcina

Mașini de CC sau mașini de CA cu colector

$$P_{sarc-Fe} \cong 0,01 \cdot P_N \cdot 10^3 \quad [W]$$

Mașini asincrone si sincrone

$$P_{sarc-Fe} \cong 0,005 \cdot P_N \cdot 10^3 \quad [W]$$

Pierderile în înfășurări sunt VARIABLE cu sarcina

1. Pierderi principale prin efect Joule

$$P_{\text{inf}} = R \cdot I^2$$

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

2. Pierderi suplimentare în înfășurări – se datoresc refulării curentului (skin effect)

$$P_{\text{supl-inf}} \cong (k_r - 1)P_{\text{inf}}$$

- unde k_r este un coeficient mediu total de majorare a rezistenței datorită fenomenului de refulare

3. Pierderile de contact la perii

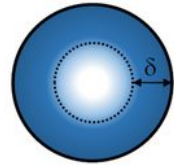
$$P_{\text{perii}} = \Delta U_p \cdot I$$

- unde $\Delta U_p = 2V$ – perii din cărbune
 $\Delta U_p = 0,3V$ – perii metalice

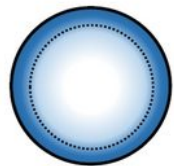
2. Pierderi suplimentare în înfășurări – explicativa la „skin effect”



(a) Cross-sectional area available for conducting DC current in a cylindrical conductor



(b) Cross-sectional area available for conducting low-frequency AC current in a cylindrical conductor

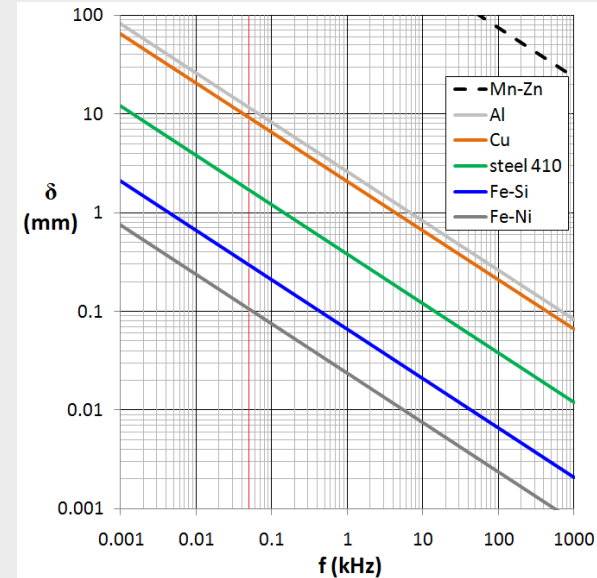
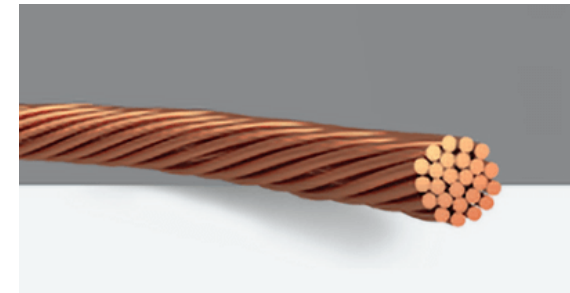


(c) Cross-sectional area available for conducting high-frequency AC current in a cylindrical conductor

Distribuția curentului într-un conductor electric depinde de frecvența acestuia. Cu cât frecvența este mai mare cu atât curentul se „restrânge” pe o suprafață mai îngustă către periferia exterioară. Se poate astfel defini „adâncimea de pătrundere”, δ . Aceasta reprezintă acea distanță până la care densitatea de curent scade de la valoarea de la suprafață până la 0,368 din ea (e^{-1}). Expresia adâncimii de pătrundere este:

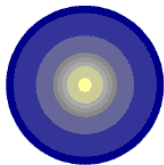
$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_r \mu_0}}$$

Efectul de suprafață este vizibil atunci când: frecvența curentului este mare și dimensiunea conductorului este mai mare decât adâncimea de pătrundere.

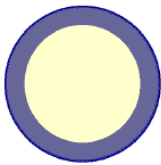


H.F. SKIN EFFECT

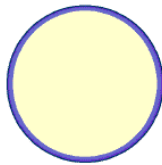
CURRENT PENETRATION DEPTH IN STEEL, (CURRENT SHOWN IN BLUE)



60Hz.
6" (150mm)



1000Hz.
0.2" (5mm)



400kHz.
0.030" (0.75mm)

În cazul mașinilor electrice, efectul de suprafață poate fi preîntâmpinat prin utilizarea conductoarelor de tip Litz (fiecare conductor este format din mai multe fire de secțiune mai mică ce sunt răsucite).





1. Pierderi de frecare in lagăre si de ventilație prin rotirea rotorului

Mașina de CC:

$$P_{fr+v} \cong 1,1 \left(\frac{\pi \cdot D \cdot n}{600} \right)^{1,6} \cdot P_N \cdot \frac{n}{n_N}$$

Mașini asincrone:

$$P_{fr+v} \cong 1,2 \cdot 2p \left(\frac{\tau}{10} \right)^3 (n_v + 11) \quad - \text{ pentru mașini cu ventilație radială}$$

$$P_{fr+v} \cong 0,65 \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \left(\frac{D_e}{10} \right)^4 \quad - \text{ pentru mașini cu ventilație axială}$$

Mașini sincrone

- a) cu poli înecați – se folosesc formulele de la mașina asincrone (canale axiale sau radiale)
- b) cu poli aparenti

$$P_{fr+v} \cong 0,8 \cdot 2p \left(\frac{\pi \cdot D_r \cdot n}{2400} \right)^3 \sqrt{\frac{l_g}{19}}$$

2. Pierderi prin frecarea periilor pe colector sau inele

Mașina de CC

$$P_{fr-perii} = \mu_{pe} \cdot p_{pe} \cdot 2p \cdot s_{pe} \cdot v_k$$

Mașina asincrona si sincrona

$$P_{fr-perii} = \mu_{pe} \cdot p_{pe} \cdot s_{pe} \cdot v_i$$

3. Pierderi de ventilație in cazul montării unui ventilator separat pe ax

$$P_v = \frac{Q \cdot H}{\eta_v} \quad [\text{W}]$$

unde: η_v este randamentul ventilatorului si are valori de 0,35-0,45 pentru ventilatoarele de tip radial respectiv 0,15-0,25 la ventilatoarele de tip axial

Q este debitul de aer ce trece prin ventilator

H este presiunea statica a ventilatorului



PIERDERI IN MASINILE ELECTRICE

ELECTRICE

MECANICE

IN FIER

IN INFASURARI

VENTILATIE
FORTATA CU
VENTILATOR
PE AX

FRECARI IN
LAGARE SI
VENTILATIE

FRECARI
ALE
PERIILOR
PE
COLECTOR
SAU INELE

PRINCIPALE

SUPLIMENTARE

PRINCIPALE

SUPLIMENTARE

IN JUG

IN DINTI

LA GOL

IN SARCINA

DE SUPRAFATA

IN DINTI

PIERDERI IN MASINA DE CURENT CONTINUU

ELECTRICE

IN FIER

PRINCIPALE

In jugul rotorului

In dintii rotorului

SUPLIMENTARE

De suprafata (la gol)
in piesele polare ale PP

De volum (la gol)

In dintii rotorului

In dintii pieselor
polare

IN SARCINA

IN INFASURARI

PRINCIPALE

In infasurarea rotorului

In infasurarea de excitatie

In infasurarea polilor auxiliari

De contact perie-colector

SUPLIMENTARE

FRECARI IN LAGARE SI VENTILATIE

+ VENTILATIE FORTATA CU VENTILATOR PE AX

MECANICE

FRECARI ALE PERIILOR PE COLECTOR

PIERDERI IN MASINA SINCRONA

ELECTRICE

IN FIER

PRINCIPALE

In jugul statorului

In dintii statorului

SUPLIMENTARE

De suprafata (la gol)

a) Stator (inf de amortizare) ; b) Rotor

De volum (la gol)

In dintii rotorului

In dintii statorului

IN SARCINA

IN INFASURARI

PRINCIPALE

In infasurarea rotorului

In infasurarea statorului

De contact perie-inel

SUPLIMENTARE

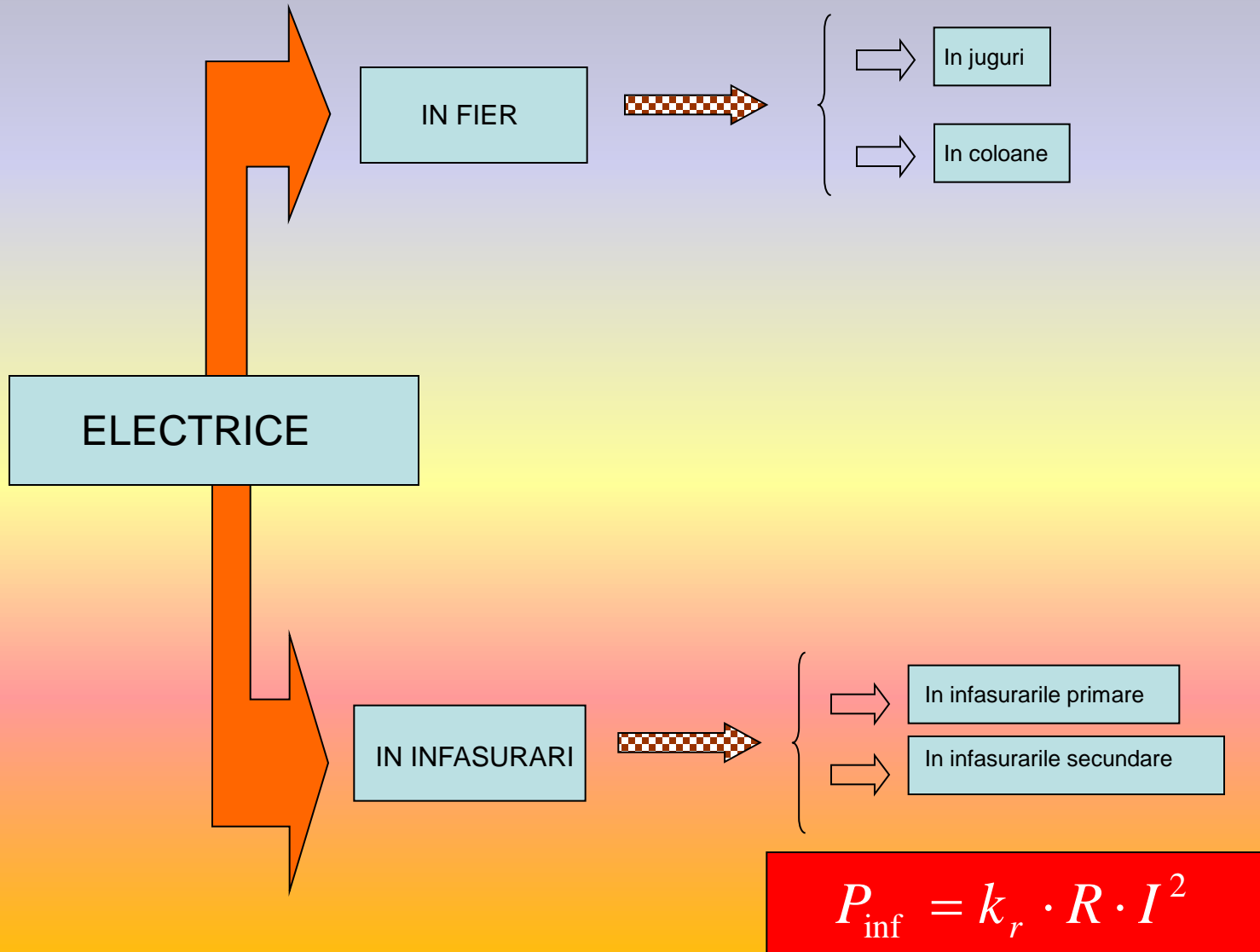
MECANICE

FRECARI IN LAGARE SI VENTILATIE

FRECARI ALE PERIILOR PE INELE

+ VENTILATIE FORTATA CU VENTILATOR PE AX

PIERDERI IN TRANSFORMATOR





Solicitări electromagnetice în mașinile electrice

- **Solicitări electrice**

- **Pătura de curent, A [A/m]**

mașini rotative: $A = \frac{N \cdot i}{\pi \cdot D}$

transformatoare: $A = \frac{w \cdot i}{L_c}$

- **Densitatea de curent, J [A/mm²]**



- **Solicitări magnetice**

- Inducția magnetică în întrefier, B_{δ} [T]

- Inducția în fier, B_{Fe} [T]

- în juguri (rotoric și statoric)

- în dinți



Mașina de C.C.	Mașina asincrona	Mașina sincrona	Transformator
<p><i>Stator</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Jug: 1,1-1,3T (oțel) 0,5-0,6T (fonta) -Pol princ: 1,4-1,6T dinți P.P. max 2T -Pol aux: 0,6-0,8T <p><i>Rotor</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Jug: 1,3-1,5T -Dinți: max 2,3T (trapez.) max 1,9T (p. paraleli) 	<p><i>Stator</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Jug: 1,35-1,55T -Dinți: max 2,1T (trapez.) 1,4-1,7T (p. paraleli) <p><i>Rotor</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Jug: 1,2-1,6T -Dinți: max 2,2T (trapez.) 1,5-1,8T (p. paraleli) 	<p><i>Stator</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Jug: 1,35-1,55T -Dinți: max 2,1T (trapez.) 1,4-1,7T (p. paraleli) <p><i>Rotor</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Cu poli aparenti -miezul polului: 1,5-1,6T -jug: 1,2-1,4T (otel.) 0,8-1T (fonta) Cu poli înecați Idem stator 	<p>Uscate ($S_N \leq 1\text{kVA}$) $B_C = 1-1,1\text{T}$</p> <p>In ulei ($S_N \geq 1\text{kVA}$) $B_C = 1,2-1,73\text{T}$</p>
<p><i>Rotor</i></p> <p>Se alege in funcție de turația mașinii si produsul $A \cdot J_a$</p> <ul style="list-style-type: none"> -$n \geq 1500$: $J_a = 6,5-7,5 \text{ A/mm}^2$ -$n \leq 500$: $J_a = 3,5-5,5 \text{ A/mm}^2$ <p><i>Stator</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -ex deriv: $J_e = 2,5-4,5 \text{ A/mm}^2$ -ex. serie+PA+Comp: $J_e = 3,2-5 \text{ A/mm}^2$ 	<p><i>Rotor</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -bobinat: $J_2 = (1,1-1,15) J_1$ -sc: $J_2 = 3-5,5 \text{ A/mm}^2$ (Al) $J_2 = 5,5-8 \text{ A/mm}^2$ (Cu) <p><i>Stator</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -$U_n \geq 1000$: $J_1 = 5-6,5 \text{ A/mm}^2$ -$U_n \leq 1000$: $J_1 = 5,5-7,5 \text{ A/mm}^2$ 	<p><i>Rotor</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Cu poli aparenti $J_2 = 2,5-4 \text{ A/mm}^2$ Cu poli înecați $J_2 = 4-6 \text{ A/mm}^2$ <p><i>Stator</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -$U_n \geq 1000$: $J_1 = 5-7 \text{ A/mm}^2$ -$U_n \leq 1000$: $J_1 = 5,5-7,5 \text{ A/mm}^2$ 	<p>Uscate ($S_N \leq 1\text{kVA}$) $J = 2,5-3 \text{ A/mm}^2$</p> <p>In ulei ($S_N \geq 1\text{kVA}$) $J = 2,2-4,2 \text{ A/mm}^2$</p> <p>Pentru înfășurări din Al densitatea de curent este: $J_{Al} = (0,6-0,7) J_{Cu}$</p>

**DEPENDENȚA PUTERII INTERIOARE
A MAȘINILOR ELECTRICE DE
DIMENSIUNILE GEOMETRICE ȘI
SOLICITĂRILE ELECTROMAGNETICE**

Mașini de curent alternativ

Puterea interioara:

$$S_i = mEI$$

$$E = \pi\sqrt{2}fwk_w\Phi \quad A = \frac{NI}{\pi D} = \frac{2m\omega I}{\pi D} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{\pi DA}{2m\omega}$$

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

$$S_i = \frac{\pi k_w}{2\sqrt{2}} (2p\Phi)(\pi DA)n \quad [\text{VA}]$$

$$\Phi = \alpha_i \tau l_i B_\delta = \alpha_i \frac{\pi D}{2p} l_i B_\delta$$

$$S_i = \frac{\pi k_w}{2\sqrt{2}} 2p\alpha_i \frac{\pi D}{2p} l_i B_\delta \pi D A n = \left(\frac{\pi k_w}{2\sqrt{2}} \alpha_i \right) \pi^2 (D^2 l_i) (A B_\delta) n \quad [\text{VA}]$$

Mașini de curent continuu

Puterea interioara:

$$P_i = EI_a \quad [W]$$

$$E = \frac{p}{a} N \cdot n \cdot \Phi$$

$$I_a = 2a \frac{\pi \cdot D \cdot A}{N}$$

$$\Phi = \alpha_i l_i B_\delta \frac{\pi \cdot D}{2p}$$

$$A = \frac{Ni_a}{\pi D}$$

$$P_i = \alpha_i \pi^2 (D^2 l_i) (AB_\delta) n \quad [W]$$

Transformatoare

Puterea interioara:

$$S_i = mEI$$

$$E = \pi\sqrt{2}f \cdot w \cdot \Phi$$

$$I = \frac{A \cdot L_c}{w}$$

$$\Phi = S_c B_c = k_m \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} B_c$$

$$S_i = \left(\frac{mk_m}{2\sqrt{2}} \right) \pi^2 (D_c^2 L_c) (AB_\delta) f \quad [\text{VA}]$$

**Masini de curent
alternativ**

$$S_i = \left(\frac{\pi k_w}{2\sqrt{2}} \alpha_i \right) \pi^2 (D^2 l_i) (AB_\delta) n \quad [\text{VA}]$$

**Masini de curent
continuu**

$$P_i = \alpha_i \pi^2 (D^2 l_i) (AB_\delta) n \quad [\text{W}]$$

Transformatoare

$$S_i = \left(\frac{mk_m}{2\sqrt{2}} \right) \pi^2 (D_c^2 L_c) (AB_\delta) f \quad [\text{VA}]$$

CONCLUZIE

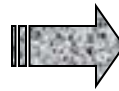
Volumul mașinilor ($D^2 \cdot l_i$)

PROPORTIONAL cu
puterea (S_i)

INVERS PROPORTIONAL
cu viteza de rotație (n) și cu
solicitările specifice (A, B_s)

CONSECINTE

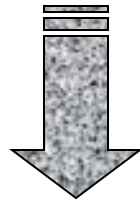
☞ Dacă se dă puterea și viteza de rotație sau frecvența



Volumul și greutatea materialelor depind de mărimea solicitărilor specifice

CONSECINTE

☞ Dacă se da puterea mașinii, iar viteza de rotație sau frecvența pot fi alese arbitrar



La solicitări specifice date, volumul și greutatea materialelor active se vor MICȘORA odată cu creșterea frecvenței sau a vitezei de rotație; totuși, pentru aceasta, este necesar să se țină seama că, odată cu mărirea frecvenței sau a vitezei de rotație cresc și pierderile în mașină și solicitările specifice vor trebui să fie micșorate.

Influența solicitărilor electromagnetice

INDUCȚIA, B

Tendința de a mări inducția la mașini, în scopul micșorării consumului de materiale active, are ca rezultat:

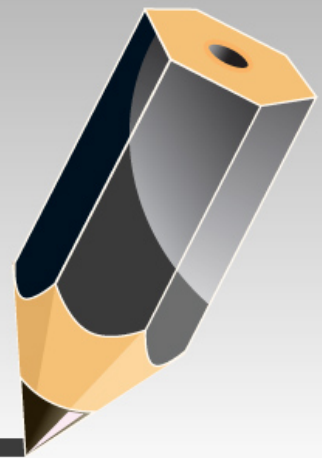
- ☞ Creșterea pierderilor prin histerezis și curenți turbionari în fier, care sunt proporționale cu pătratul inducției și cu frecvența (la puterea 1,3);
- ☞ Creșterea saturației și, în consecință, a mărimii curentului de magnetizare;
- ☞ Mărirea curentului de magnetizare duce la micșorarea factorului de putere la mașinile de curent alternativ și la mărirea pierderilor în cuprul bobinajului de excitație, în toate mașinile;

PATURA DE CURENT, A

Tendința de a mări pătura de curent, în scopul micșorării consumului de materiale, are ca rezultat:

- ➔ Creșterea pierderilor care revin pe unitatea de suprafață a bobinajelor și, în consecință, mărirea încălzirii lor;
- ➔ Schimbarea parametrilor electrici ai bobinajului, pentru aceleași condiții, reactanța relativă a înfășurărilor crește proporțional cu raportul A/B_{δ} ;
- ➔ Modificare raportului economic dintre pierderile din cupru și din fier.

Factor de forma
Coeficient de utilizare



Puterea interioara de calcul

**Masini de curent
alternativ**

$$S_i = \left(\frac{\pi k_w}{2\sqrt{2}} \alpha_i \right) \pi^2 (D^2 l_i) (AB_\delta) n \quad [\text{VA}]$$

**Masini de curent
continuu**

$$P_i = \alpha_i \pi^2 (D^2 l_i) (AB_\delta) n \quad [\text{W}]$$

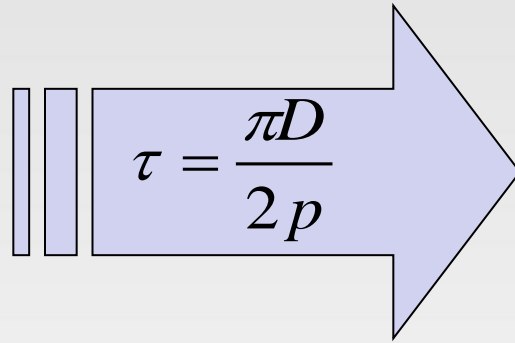
Transformatoare

$$S_i = \left(\frac{mk_m}{2\sqrt{2}} \right) \pi^2 (D_c^2 L_c) (AB_\delta) f \quad [\text{VA}]$$



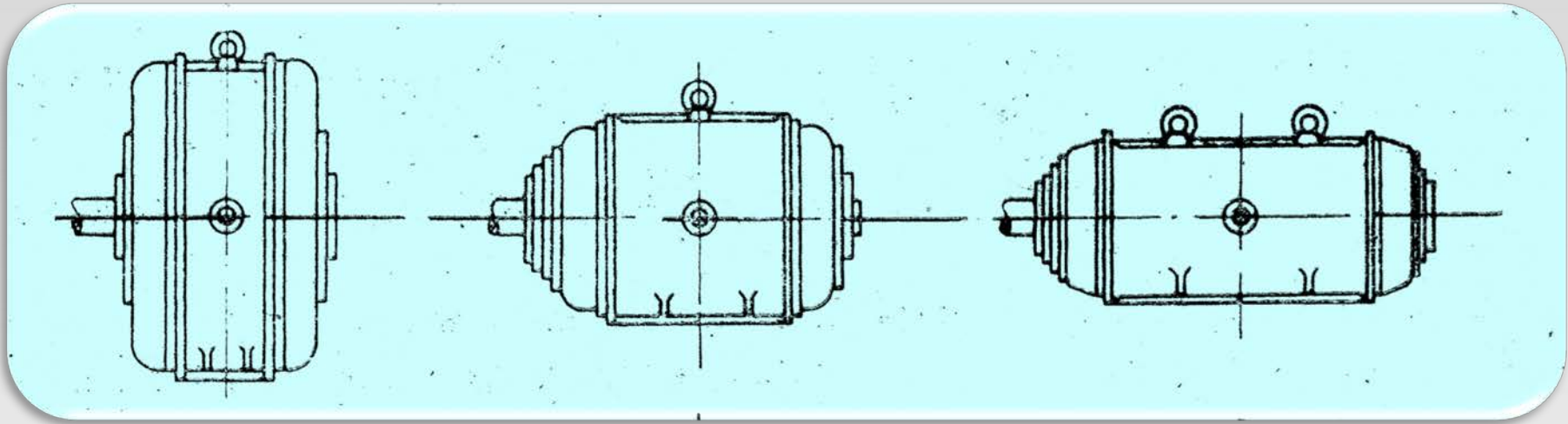
Factor de forma (coeficient de suplețe)

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



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





λ – valoare mică

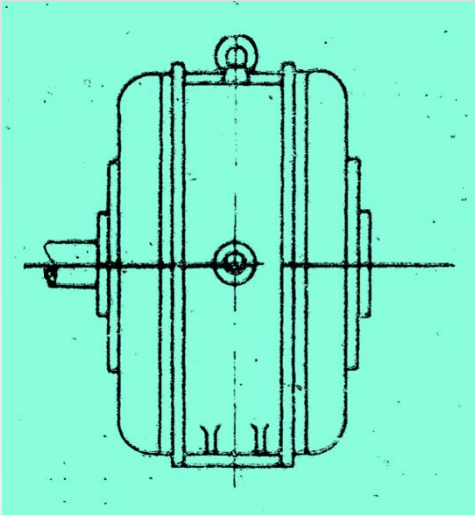
Mașina tip „șaiță”

λ – valoare medie

λ – valoare mare

Mașina „turbo”





Masina tip saibă



Avantaje

- ✓ Moment de volant $G \cdot D^2$ –mare
- ✓ Răcire bună



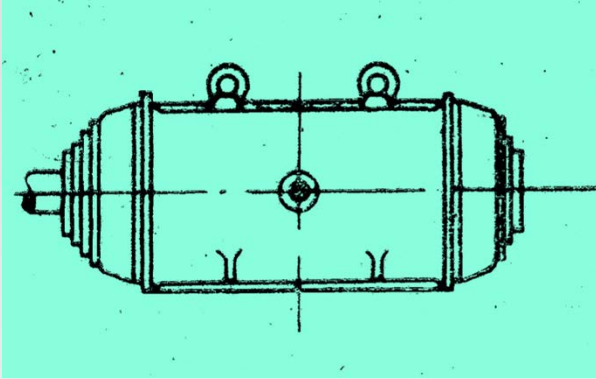
Dezavantaje

- ⊕ Utilizare nerațională a conductoarelor
- ⊕ Construcție voluminoasă (scuturi și lagăre)

Aplicație caracteristica

Antrenarea unui compresor cu piston sau cuplarea cu un motor Diesel





Masina tip turbo



Avantaje

- ✓ Constante electromecanice reduse (accelerări și frânări rapide)
- ✓ Părți frontale mici



Dezavantaje

- ⊕ Necesitatea divizării miezului și a canalelor axiale pentru răcire

Aplicație caracteristică

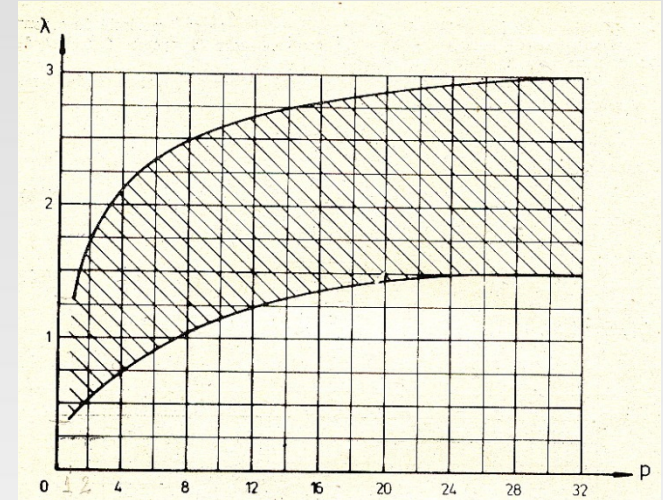
Servomotoare, mașini cu viteză ridicată



Mașina de C.C

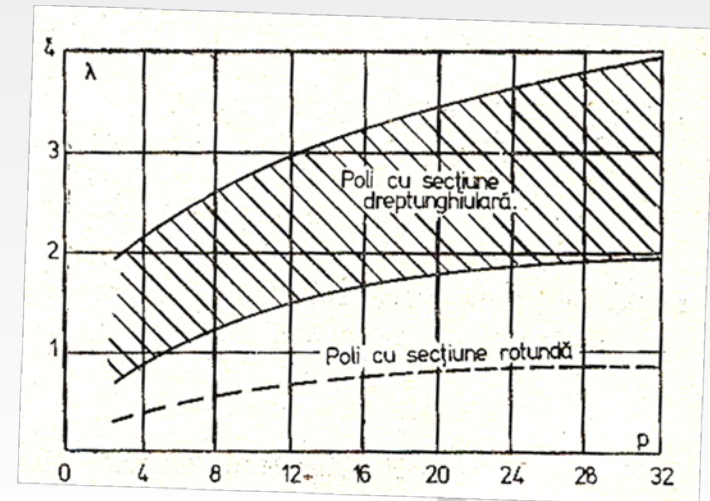
$$0,5 < \lambda < 1,5$$

Mașina asincronă



Mașina sincronă

$$\lambda_{optim} \approx 0,5 \cdot \sqrt{p}$$



Coeficientul de utilizare

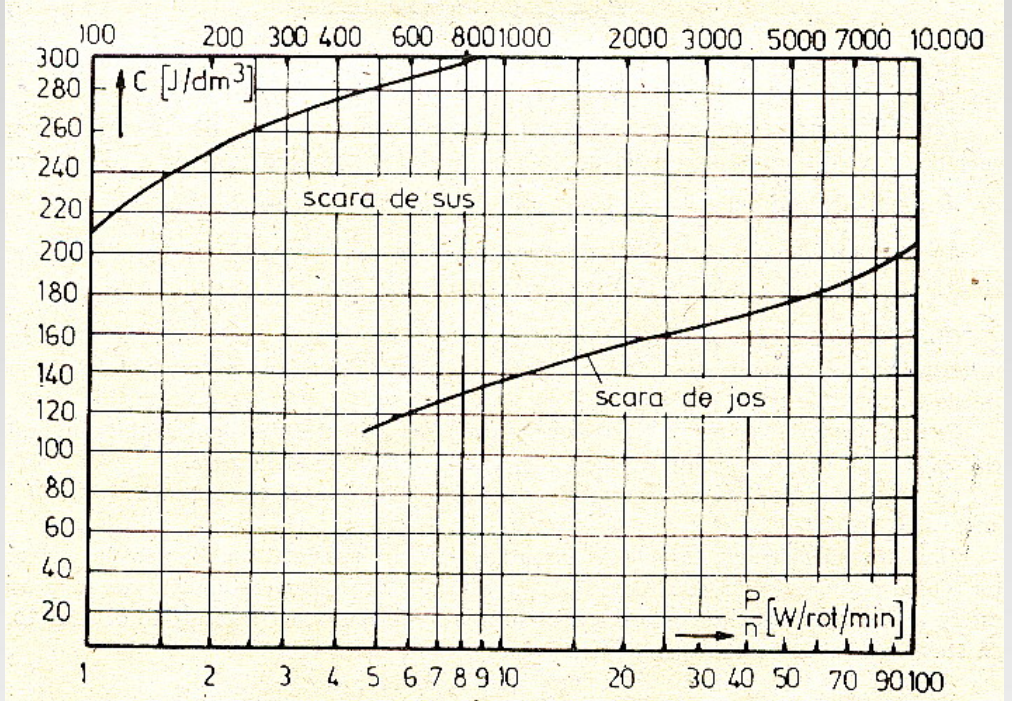
$$C = \frac{S_i}{D^2 l_i n} \quad [J/dm^3]$$

Coeficientul de utilizare: reprezintă puterea electromagnetică obținută pe unitatea de volum a materialelor active și pe unitatea de agent de interacțiune (adică turația n)

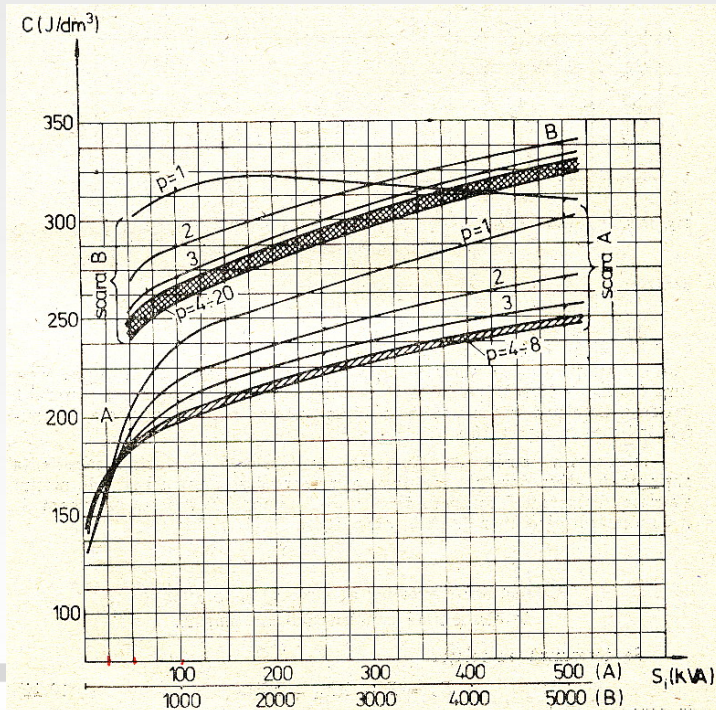
$$C = k_i \pi^2 AB_\delta$$



Mașina de C.C



Mașina asincronă și sincronă



Calculul lățimii întrefierului

Mașini de curent continuu

Reason behind: deformarea câmpului magnetic principal de către cel de reacție să nu ducă la inversarea polarității polului adică:

$$0,5b_i A \leq \frac{1}{2}(U_{m\delta} + U_{md})$$



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

$$k_\delta = (0,35 \div 0,56) \cdot 10^{-4}$$

- tipul creștăturii (semiînchise, semideschise, deschise)
- putere (sub sau peste 100 kW)
- existența înfășurării de compensație

$$\delta_{reg} = \delta \cdot \frac{n_{max}}{n_{min}}$$



Mașini cu reglaj de viteză

Mașini sincrone

Reason behind: reactanța sincronă longitudinală, x_d , să aibă o anumită valoare (de valoarea ei depind stabilitatea statica, capacitatea de suprasarcina, curentul de scurtcircuit si dimensiunea înfășurării de excitație) **si anume:**

- masini cu poli aparenti sau varianta combinata

$$x_d = 1 \div 1,6 \text{ u.r.}$$

- compensator sincron

$$x_d = 1,8 \div 2,2 \text{ u.r.}$$

$$\delta = \frac{0,36 \cdot A \cdot \tau}{k' (x_d - x_{\sigma 1}) B_\delta}$$

- pentru varianta combinata

- intre piesele polare

$$\delta_{trans} = (6 \div 8) \delta$$

- masini cu poli inecati

$$\delta = \frac{0,46 \cdot A \cdot \tau}{k' (x_d - x_{\sigma 1}) B_\delta}$$

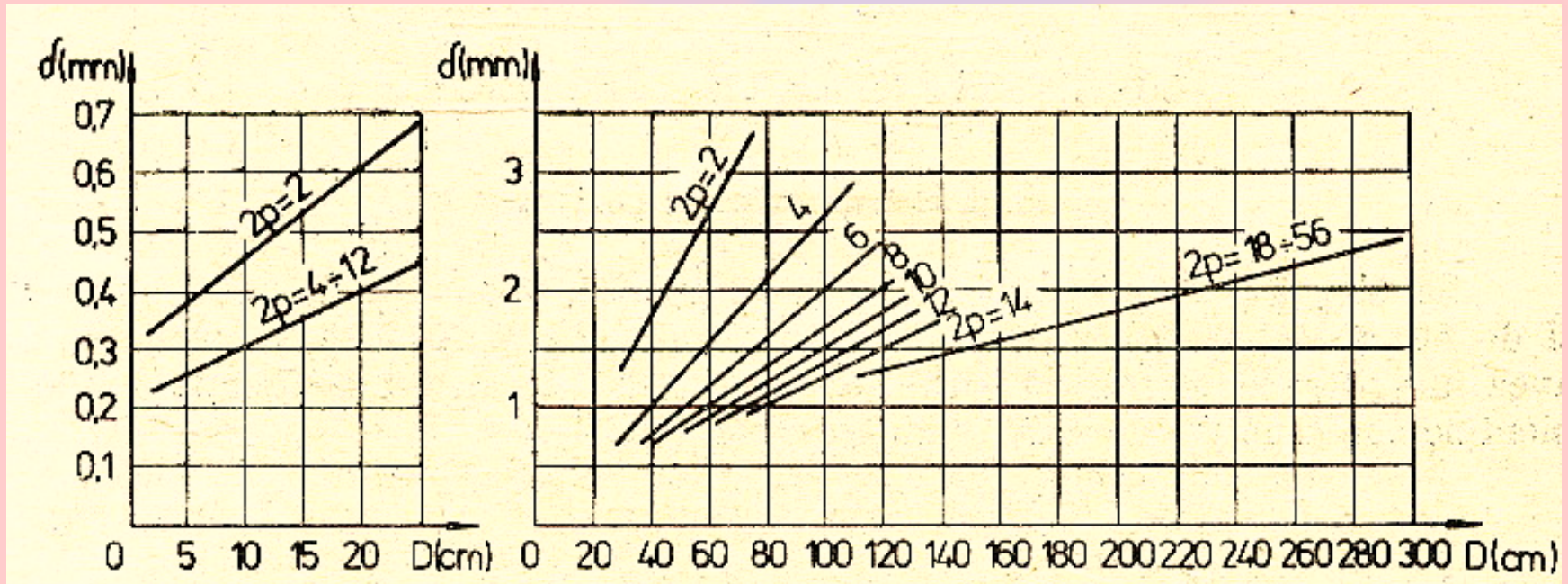
- turbogeneratoare

$$\delta = 0,563 \cdot \frac{k_w}{k_c} \cdot \frac{\tau}{x_d} \cdot \frac{A}{B_\delta}$$

$$x_d = 1,1 \div 1,8 \text{ u.r.}$$

Maşini asincrone

Reason behind: întrefier cât mai mic posibil din punct de vedere tehnologic



$$\delta \approx 3 \left(4 + 0,7 \sqrt{D \cdot l_g} \right) \cdot 10^{-2}$$

DIMENSIUNI IDEALE
DIMENSIUNI GEOMETRICE

Dimensiunile geometrice principale ale mașinilor electrice

diametrul la nivelul
întrefierului (diametrul
interior al statorului în
cazul mașinilor de c.a.
respectiv diametrul
exterior al rotorului
pentru mașinile de c.c.)

D

diametrul interior
al miezului rotoric

D_{ir}

lungimea geometrică
a miezului
feromagnetic

l_g

diametrul exterior
al miezului
magnetic statoric

D_e

lățimea
întrefierului

δ





Având în vedere forma complicată a mașinilor electrice, rezultă o neuniformitate a câmpului magnetic atât pe lungime cât și pe circumferința rotorului. Acest fapt complică aplicarea legilor câmpului electromagnetic.

Pentru simplificare, *se înlocuiește mașina reală cu una echivalentă* la care mărimile câmpului magnetic se mențin constante de-a lungul dimensiunilor respective. Această mașină echivalentă este caracterizată de dimensiuni *ideale* care, în general, diferă de cele reale.

Mașina cu miez divizat NUMAI in rotor (mașina de C.C.)

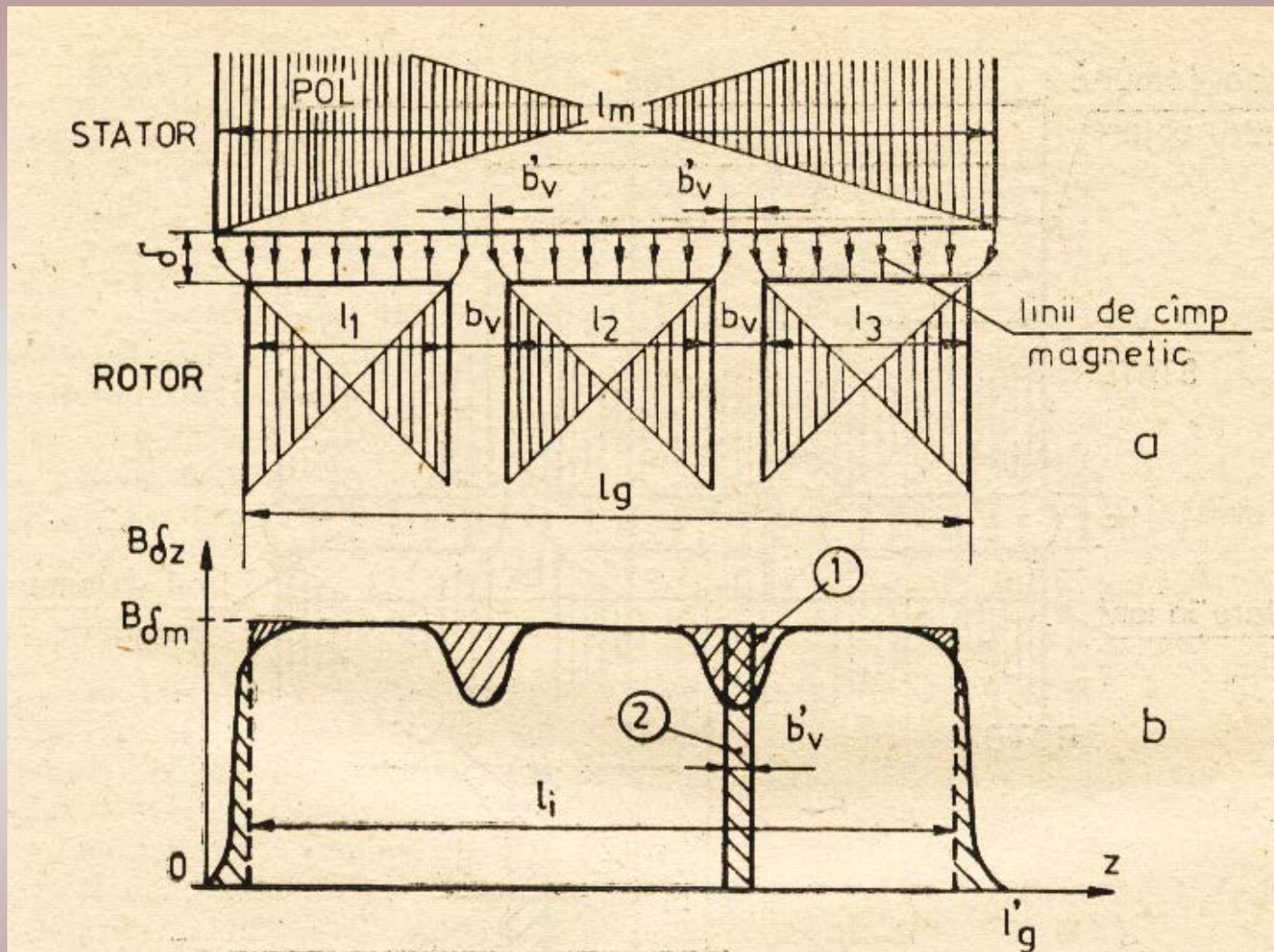


Fig. 4.1. Construcția divizată (cu canale radiale de ventilație) a miezului feromagnetic al unei mașini de c.c. (este divizat numai miezul rotorului):
a — secțiune longitudinală și configurația liniilor de câmp magnetic; b — curba inducției magnetice în întrefier în lungul axei mașinii și semnificația lungimii ideale l_i .

Lungimea ideala, l_i

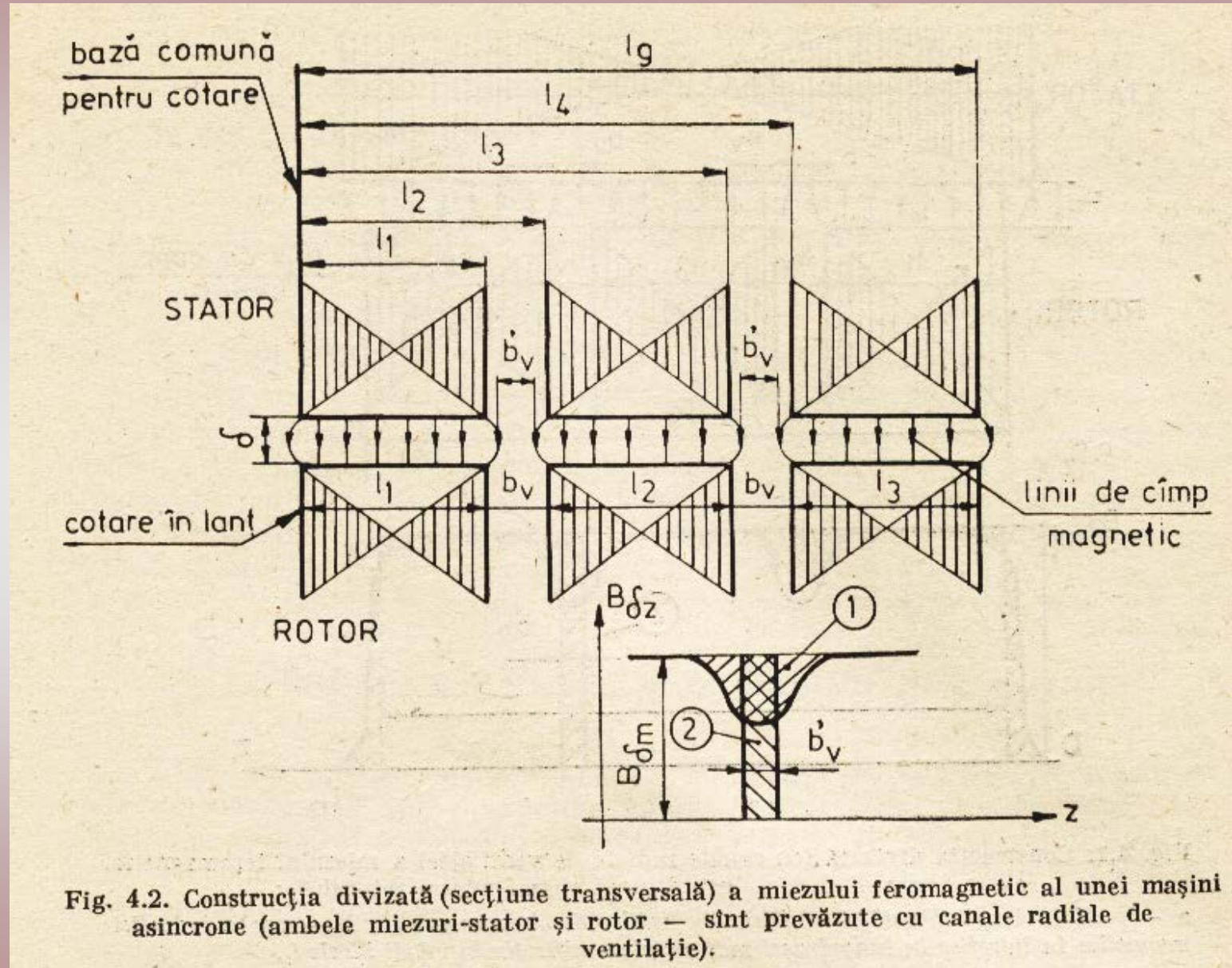
lungimea axială a miezului feromagnetic ECHIVALENTA cu a unei mașini reale dar pe deschiderea căreia inducția magnetică în întrefier este constantă și egală cu valoarea maximă

$$l_i \cdot B_{\delta m} = \int_0^{l_g'} B_{\delta z} dz \quad \longrightarrow \quad l_i = \frac{1}{B_{\delta m}} \cdot \int_0^{l_g'} B_{\delta z} dz$$

$$l_i = l_g - n_v \cdot b_v'$$

$$l_g = l_{Fe} + n_v \cdot b_v$$

Masina cu miez divizat pe ambele armaturi (masina asincrona)



Mașini cu canale radiale pe o singura armatura (MCC sau MS cu PA)



$$b'_v \approx 0,5 b_v$$

Mașini cu canale radiale pe ambele armaturi (MAS sau MS cu PI)



$$\delta > 1m \quad m \quad b'_v = b_v \frac{b_v}{b_v + 5\delta}$$

$$l_{Fe} < l_i < l_g$$



$$\delta < 1mm \quad b'_v \approx b_v$$

$$l_i \approx l_{Fe} < l_g$$



Miez compact

$$l_i \approx l_{Fe} = l_g$$

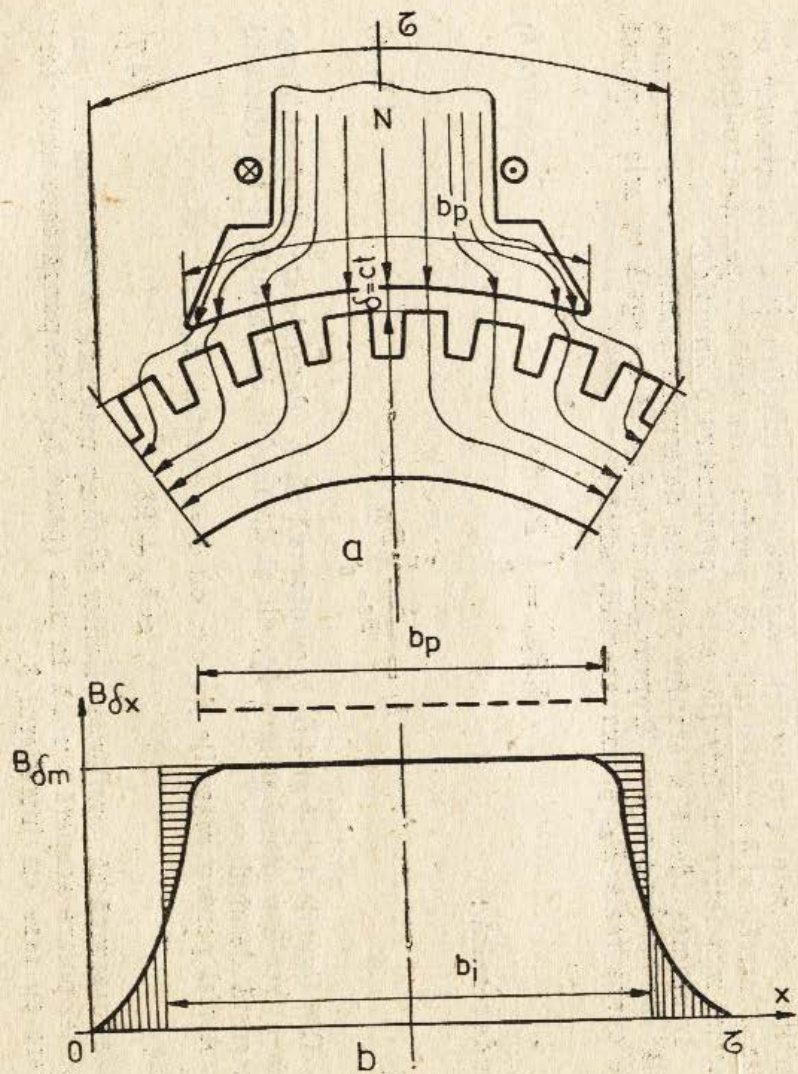


Fig. 4.4. Repartiția spațială, pe deschiderea pasului polar τ , a inducției magnetice în întrefier în cazul când $\delta = \text{constant}$ și lungimea ideală a arcului polar (s-au neglijat armonicile dentare).

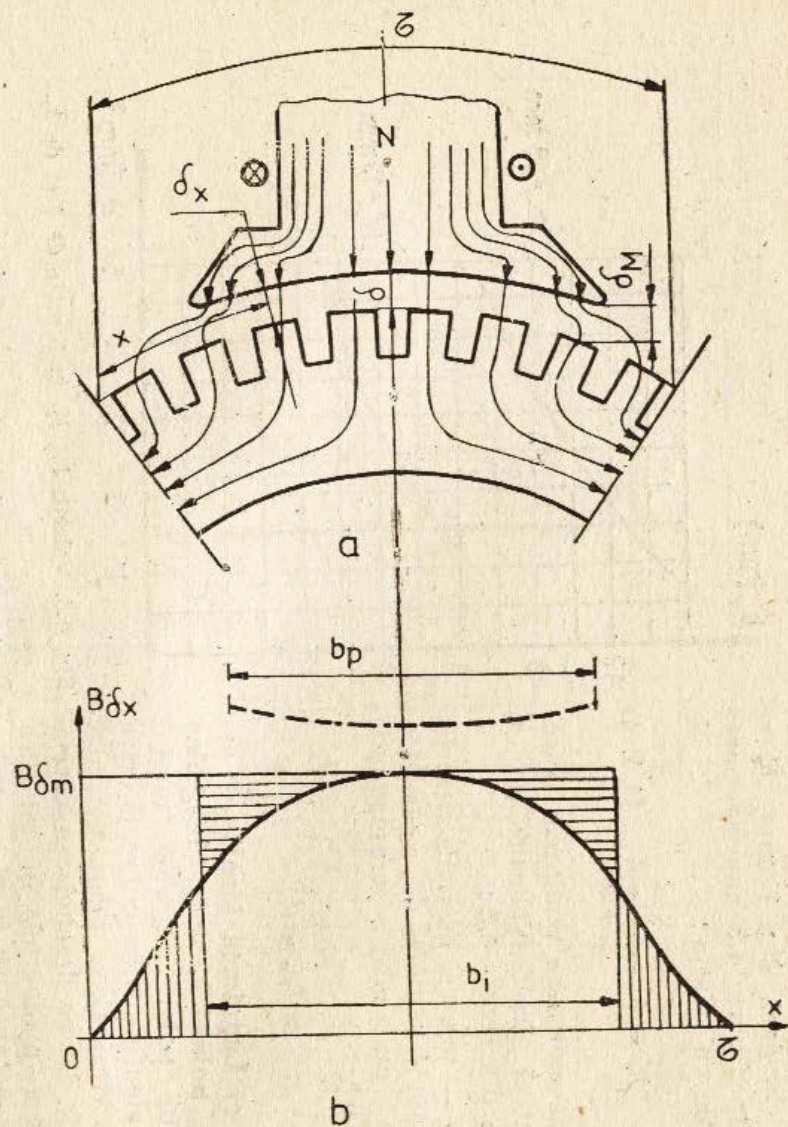


Fig. 4.5. Repartiția spațială (sinusoidală), pe deschiderea pasului polar τ , a inducției magnetice în întrefier în cazul când $\delta \neq \text{constant}$ și lungimea ideală a arcului polar (s-au neglijat armonicile dentare).

Lungimea ideala a arcului polar, b_i

lungimea arcului polar ECHIVALENTA cu a unei mașini reale dar pe deschiderea căreia inducția magnetică în întrefier este constantă și egală cu valoarea maximă

$$b_i \cdot B_{\delta m} = \int_0^{\tau} B_{\delta x} dx \quad \rightarrow \quad b_i = \frac{1}{B_{\delta m}} \cdot \int_0^{\tau} B_{\delta x} dx$$

$$b_i \approx b_p + 2\delta \quad \text{daca} \quad \delta = \text{const.}$$

$$b_i = \frac{2}{\pi} \tau \quad \text{daca} \quad \delta_x = \frac{\delta}{\sin\left(\frac{\pi}{\tau} x\right)}$$

Factorul de acoperire polara, α_p

$$\alpha_p = \frac{b_p}{\tau}$$

$$\alpha_i = \frac{b_i}{\tau}$$

$$\alpha_p = 0,6 \div 0,75$$

$\delta = \text{const.}$



$$\alpha_i = \frac{b_i}{\tau}$$

$\delta = \text{var.}$ cu $\frac{\delta_M}{\delta} = 1,5 \div 2$



$$\alpha_i \approx \alpha_p$$

Inducție magnetică în întrefier sinusoidală



$$\alpha_i = \frac{2}{\pi}$$

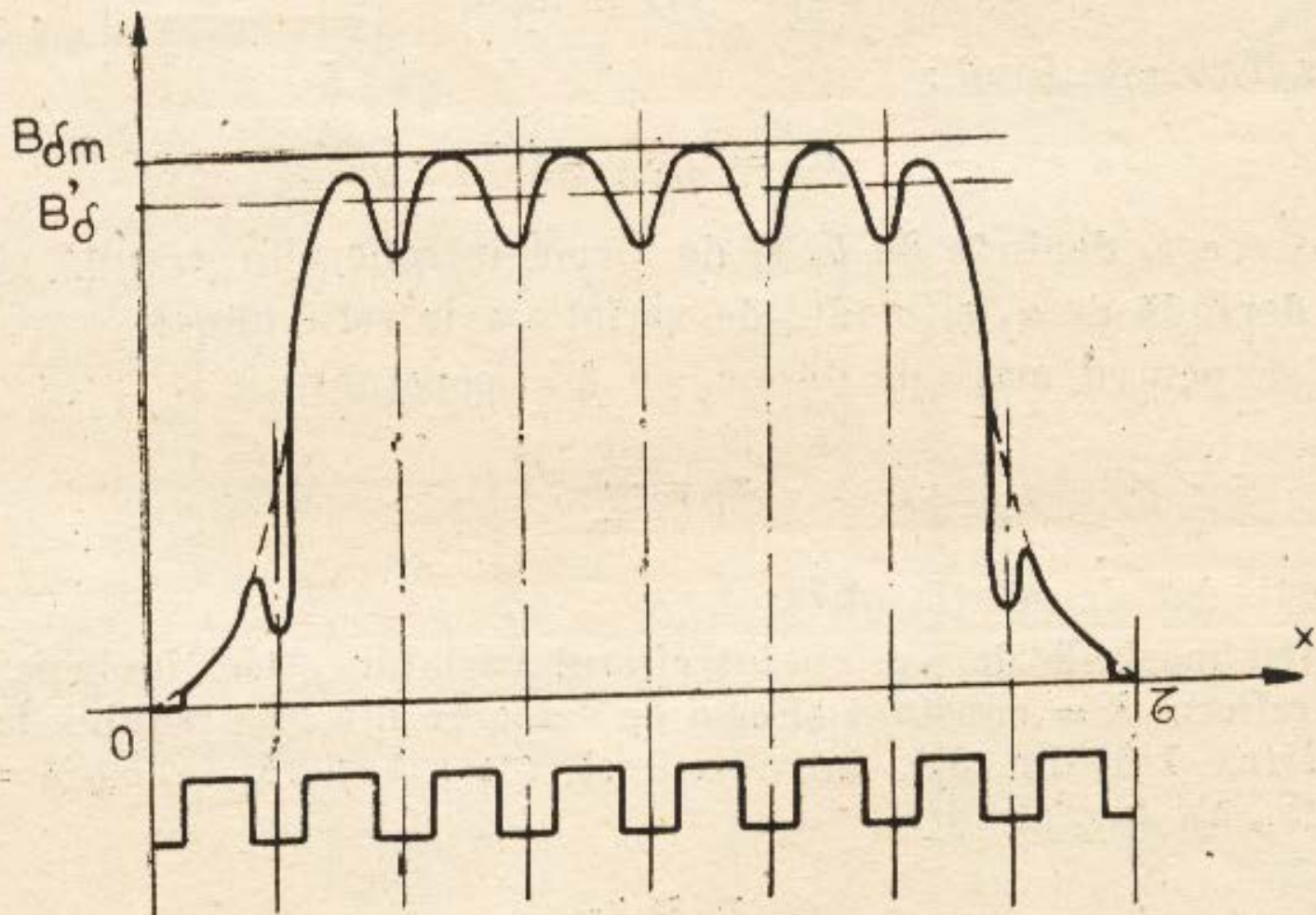


Fig. 4.6. Repartiția spațială, pe deschiderea pasului polar τ , a inducției magnetice în întrefier în cazul când $\delta = \text{constant}$, cu luarea în considerație a influenței creștăturilor.

Întrefierul echivalent, δ'

Existența dinților și creșturilor (istmurilor) la periferia statorului și rotorului determină o variație a amplitudinii inducției din întrefier ca în fig. 4.6. Practic are loc o cădere a valorii inducției de la $B_{\delta m}$ la B_{δ}' ce ar corespunde unei mașini cu întrefier riguros neted.

$$B_{\delta}' = \frac{B_{\delta m}}{k_C}$$

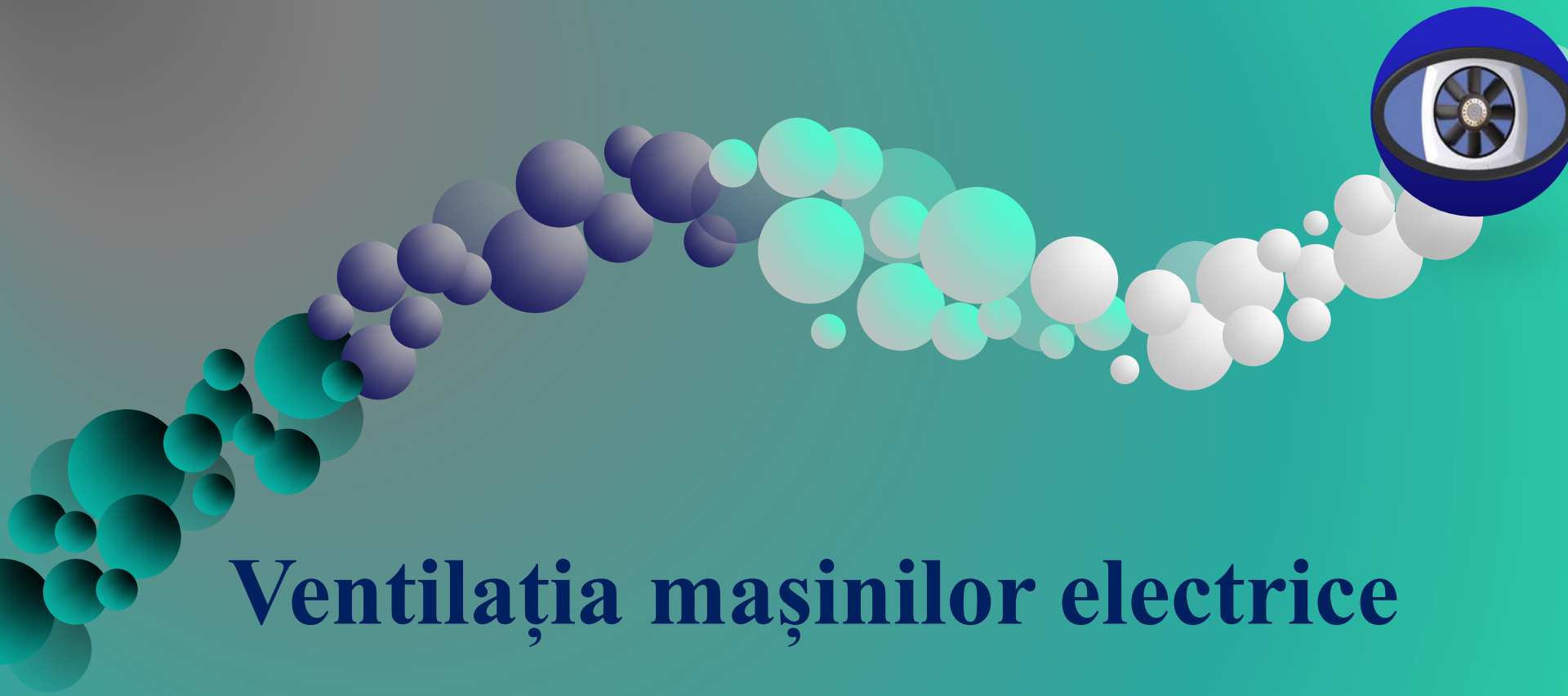
Coeficientul k_C este coeficientul lui Carter prin care se ține seama de influența creșturilor. Este un coeficient supraunitar ($k_C > 1$).

$$k_C = k_{C1} \cdot k_{C2}$$

$$k_{C1,2} = \frac{t_{1,2}}{t_{1,2} - \gamma_{1,2} \cdot \delta} \quad \text{cu} \quad \gamma_{1,2} = \frac{\left(\frac{a_{r,s}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{a_{r,s}}{\delta}}$$

Întrefierul echivalent, δ' , este întrefierul în care inducția are valoarea reală $B_{\delta m}$.

$$\delta' = k_C \cdot \delta$$



Ventilația mașinilor electrice



Ventilația unei mașini electrice este strâns legată de menținerea temperaturii admisibile corespunzătoare clasei sale de izolație.

Clasa de izolație este o categorie folosită pentru caracterizarea materialelor izolante care suportă aceeași temperatură admisibilă.

Există 7 clase de izolație, notate cu Y, A, E, B, F, H, C:

Y - temperatura admisibilă 90°C (bumbac, mătase, hârtie - neimpregnate);

A - 105°C (bumbac, celofibră, mătase - impregnate);

E - 120°C (pelicule organice sintetice);

B - 130°C (materiale pe bază de mică, fibră de sticlă, azbest - cu lianți organici și compounduri de impregnare);

F - 155°C (aceleași materiale ca la B, dar de calitate superioară);

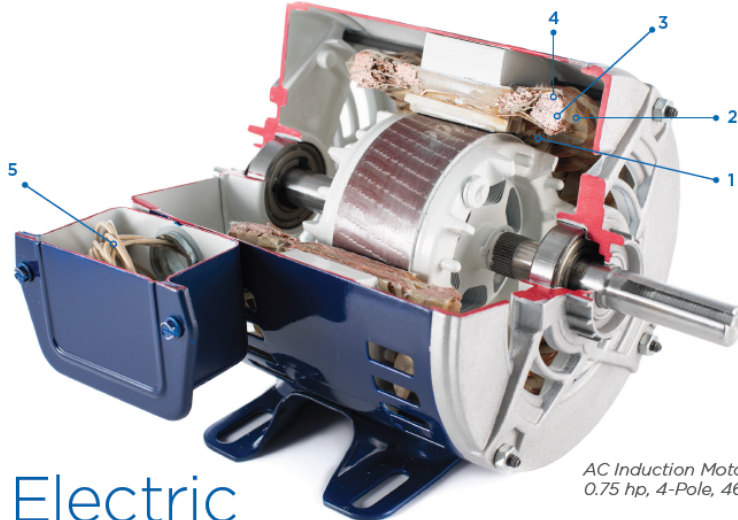
H - 180°C (materiale pe bază de mică, fibră de sticlă, azbest - cu lianți siliconici);

C - peste 180°C (porțelan, cuarț, sticlă).

Cele mai întâlnite clase de izolație în construcția de mașini electrice sunt A, E, B, F, iar mai recent H.

TABLE I. STANDARD INSULATION CLASSES [6]

IEC 60085 Thermal class[2]	Old IEC 60085 Thermal class[2]	NEMA Class [3]	NEMA/ UL Letter class [3]	Maximum hot spot temperature allowed	Typical materials
70					
90	Y			90°C	Un-impregnated paper, silk, cotton, vulcanized natural rubber, thermoplastics that soften above 90 C [4]
105	A	105	A	105°C	Organic materials such as cotton, silk, paper, some synthetic fibers [5]
120	E			120°C	Polyurethane, epoxy resins, polyethylene terephthalate, and other materials that have shown usable lifetime at this temperature
130	B	130	B	130°C	Un-organic materials such as mica, glass fibers, asbestos, with high-temperature binders, or others with usable lifetime at this temperature
155	F	155	F	155°C	Class 130 materials with binders stable at the higher temperature, or other materials with usable lifetime at this temperature
180	H	180	H	180°C	Silicone elastomers, and Class 130 un-organic materials with high-temperature binders, or other materials with usable lifetime at this temperature
200			N	200°C	As for Class B and including Teflon
220		220	R	220°C	As for IEC class 200
		240	S	240°C	Polyimide enamel (Pyre-ML) or Polyimide films (Kapton and Alconex GOLD)
250				250°C	As for IEC class 200. Further IEC classes designated numerically at 25 °C increments.
N/A	N/A	N/A	N/A	300	Newly developed polymer (NeoTem™) at Zeus Inc.



AC Induction Motor:
0.75 hp, 4-Pole, 460V

Electric Motor Guide

Focus on PEEK

Improve motor performance to 260 °C! Use crystalline PEEK-coated magnet wire and PEEK Lay-Flat tubing as the primary insulating products. PEEK is abrasion resistant and chemically inert. When motors use our PEEK products, they show improvements in partial discharge, Q factor, and capacitance compared to standard motor components.

Additionally, motors exhibit lower leakage current, shorter absorption times, and operate with greater efficiency compared to motors with standard wire and insulation. Want to make a prototype? Contact us to request samples.

PEEK Lay-Flat® Tubing

1. Slot Liner
2. Coil Slot Separation
3. End Coil Phase Separation

PEEK Insulated Wire

4. Magnet Wire
5. Lead Wire



Insulated Wire

PEEK Insulated Wire

Engineered For Challenging Environments

Overview-

Zeus PEEK Insulated Wire is designed specifically for challenging environments with improved electrical, thermal and mechanical properties. The oil and gas, nuclear, automotive, electrical and aerospace industries can all benefit from using PEEK Insulated Wire.

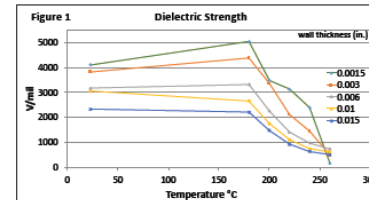


Figure 1: PEEK Insulated Wire dielectric strength vs. temperature. Per ASTM D149 method.

Temperature (°C)	PEEK 0.0015" wall	PEEK 0.003" wall
22	4113	3830
180	5040	4393
200	3487	3357
220	3133	2107
240	2393	1443
260	153	483



DIELECTRIC STRENGTH



CHEMICAL RESISTANCE



ABRASION RESISTANCE



APPLICATIONS

- Electric motors
- Solenoids
- Transformers
- Electronics
- Wire and cable

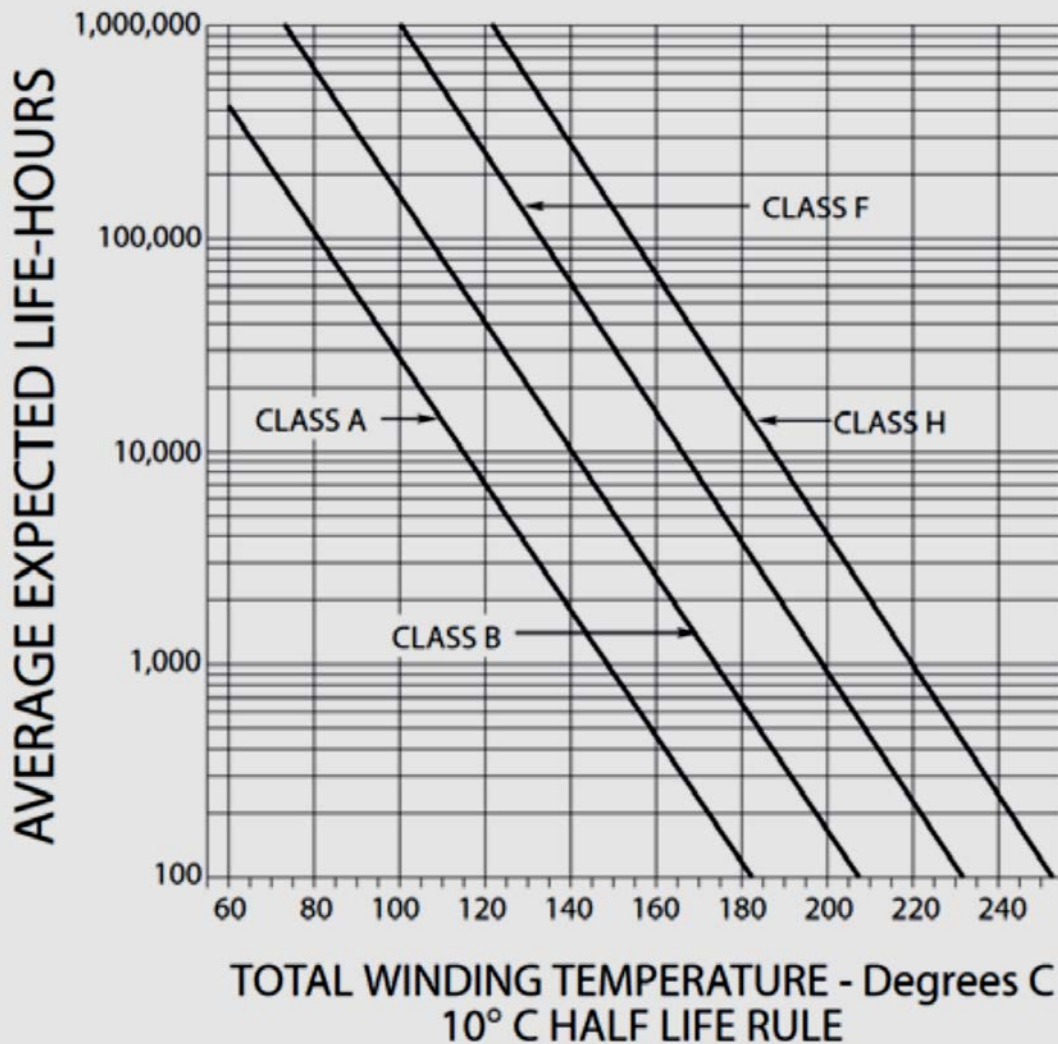
CAPABILITIES AND SIZING

- Round: #3 - #40 AWG sizes
- Spool weights up to 200 Lbs
- Wall thickness range = .001" - .080"
- Stranded sizes and custom shapes available upon request
- Alloy: Copper (customer alloys and plating available upon request)

KEY PROPERTIES

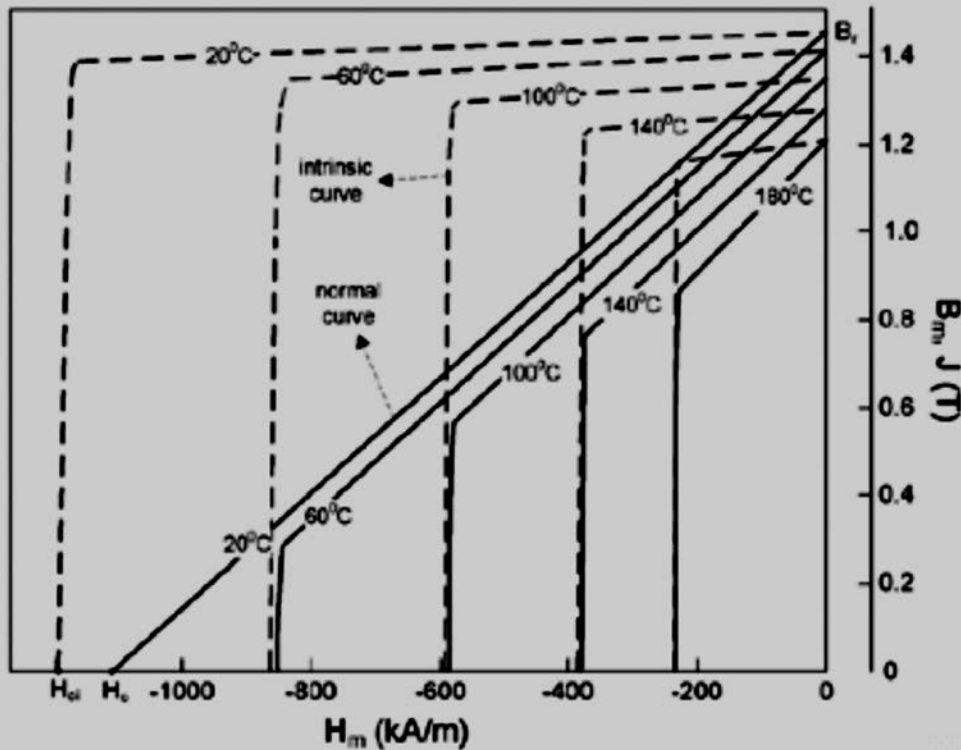
- PEEK polymer is UL rated up to 260 °C (500 °F)
- Abrasion resistance
- Excellent dielectric strength
- Chemical resistance
- Halogen free
- Thermal conductivity .29 W/mK
- 100% AC spark tested during extrusion

Managementul temperaturii în funcție de clasele de izolație



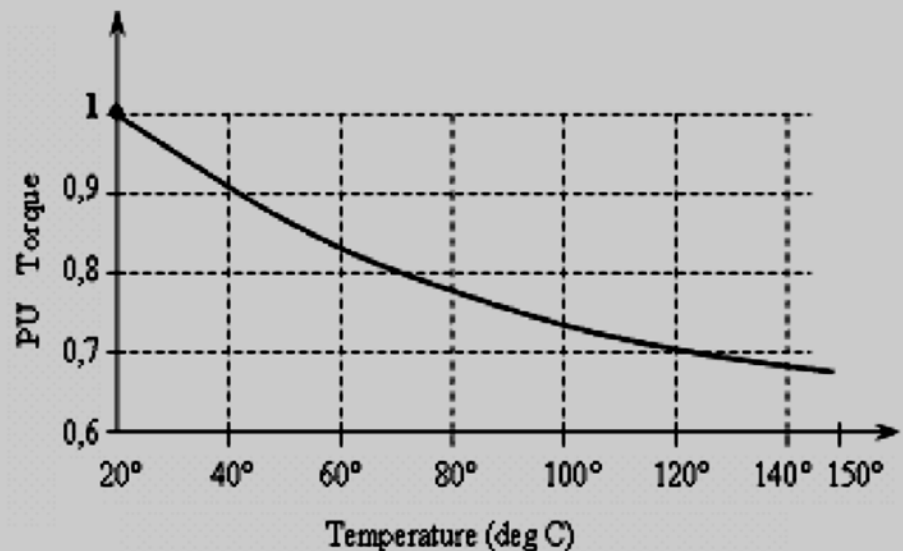
Timpul de viață se ÎNJUMĂTĂȚEȘTE pentru fiecare creștere a temperaturii cu 10°C peste temperatura nominală a clasei de izolație și se DUBLEAZĂ pentru fiecare 10°C sub temperatura nominală a clasei de izolație.

Managementul temperaturii pentru magneți permanenți



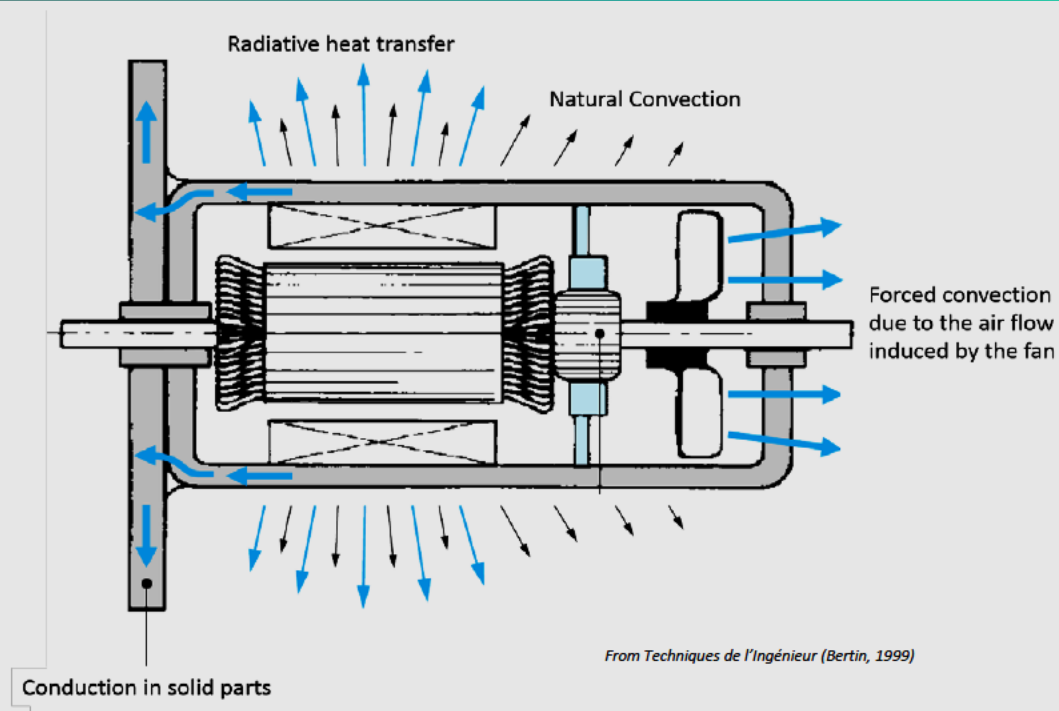
Odată cu creșterea temperaturii se reduce energia magnetică înmagazinată (scad atât inducția remanentă cât și câmpul coercitiv).

Variația cu temperatura a cuplului electromagnetic dezvoltat de o mașină cu magneți permanenți.



Transferul căldurii

- An electric machine is a complex system in terms of heat transfers
- The three kind of heat transfers interact (Conduction, Convection, Radiation)
- Heat is generated by losses in the machine
- Heat always flow from the hottest temperature to the lowest



- Există trei modalități de transfer al căldurii: conducție, convecție și radiație.
- „Circulația” căldurii are loc întotdeauna din punctul mai fierbinte către punctul mai rece.

Transferul căldurii prin conducție

General Introduction: Conductive heat transfer

! **Conduction occurs inside a body**, depends on the thermal conductivity (λ in $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)

- In a homogeneous body, heat flux (φ in W/m^2) respects a simple PDE the Fourier's Law, fundamental law for conduction:

$$\varphi = -\lambda \cdot \nabla T$$

- For an **equivalent heat flux**, a **higher thermal conductivity means a lower temperature gradient** i.e. lower temperature levels
- Electric analogy: **Ohm's Law**, Temperature is Voltage, thermal conductivity is equivalent to electric conductivity

! **Electric insulators** are most of the time **good thermal insulators**.

! Air is one of the best insulator if it's not moving; if there is air motion, **convective heat transfer** appears

Material	λ (W/m/K)
Air	0.026
PVC	0.15
Epoxy	0.25
Water	0.6
Stainless Steel	30
Cast Iron	50
Aluminum	230
Copper	390

Thermal conductivities of common materials at 20°C

- **Conducția apare *in interiorul* corpurilor și depinde de conductivitatea termică.**
- **Materialele izolatoare electrice sunt totodată și bune izolatoare termice.**
- **Aerul este un foarte bun izolator termic, dacă nu se mișcă. Dacă există curent de aer, apare transfer de căldură prin convecție.**

Transferul căldurii prin convecție

General Introduction: Convective heat transfer

! Convective heat transfer occurs in case of a moving fluid on a solid body

- The convective heat flux between a solid and a fluid body is given by Newton's Law:

$$\varphi = h \cdot (T_{sol} - T_{flu})$$

! h is the convective Heat Transfer Coefficient (HTC) in $W/m^2/K$

! The fluid can be a gas (e.g. air), or a liquid (e.g. water, oil)

! **Natural convection:** fluid motion due to thermal gradients (e.g. hot air balloon, ocean currents)

! **Forced convection:** fluid motion due to an external source (e.g. pump, fan)- **main method** to cool electric machines

Material	h (W/m ² /K)
Air (natural convection)	5-10
Air (forced convection)	10-300
Water (forced convection)	500 – 10000

Range of convective HTC for air and water

- Convecția apare când un fluid se mișcă peste un corp solid.
- Fluidul poate fi gaz (aer) sau lichid (apa, ulei).
- Poate exista convecție naturală (datorată gradientului de temperatură, de ex. curenții oceanici) și convecție forțată (fluidul se deplasează datorită unor surse exterioare).
- Convecția forțată este principala metoda folosită în răcirea mașinilor electrice.

Transferul căldurii prin radiație

General Introduction: Radiative heat transfer

! Each body emits electromagnetic radiations depending on its temperature levels (contactless heat transfer)

- Bodies are modelled using the **gray body** theory. The heat flux exchanged with a body and its environment is:

$$\varphi = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T^4 - T_{\infty}^4)$$

- σ is the Stefan-Boltzman constant and ε is the **emissivity** of the body
- The emissivity is low for reflective surfaces (polished metals) and depends strongly on the surface finish

! Radiative heat transfer is **often neglected inside** the machine due to relatively low temperature levels

- Radiative heat transfer can be important as a **boundary condition** especially in case of natural convection

Ex: alternator in a car exchanging heat with the other parts of the engine

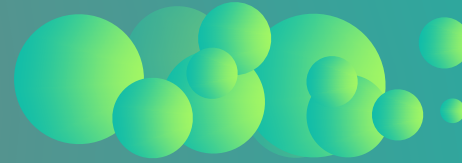
Material	ε
Aluminum (polished)	0.05
Aluminum (strongly oxidized)	0.25
Black electrical tape	0.95
Cast iron (polished)	0.21
Copper (polished)	0.01
Copper (oxidized)	0.65
Galvanized steel	0.28
Ideal Black Body	1
Matt paint (oil)	0.9-0.95
Water	0.98

Emissivity values for common materials at 20°C (Fluke)

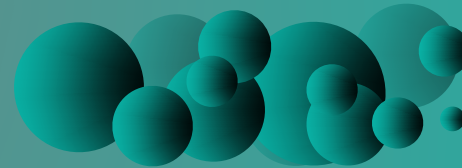
- Fiecare corp emite radiații electromagnetice care depind de temperatura sa.
- In mașinile electrice, adeseori transferul de căldură prin radiație este neglijat datorită diferențelor de temperatură relativ scăzute.

Surse de căldură în mașinile electrice

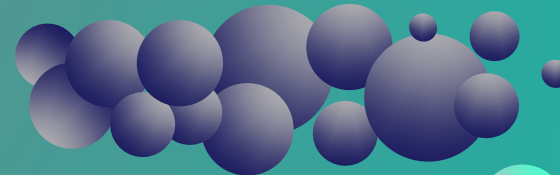
In mașinile electrice încălzirea apare datorita pierderilor de tip electromagnetic și mecanic .



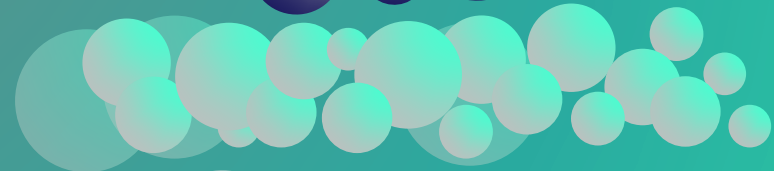
Ponderea pierderilor depinde esențial de structura mașinii, sarcina și condițiile de alimentare.



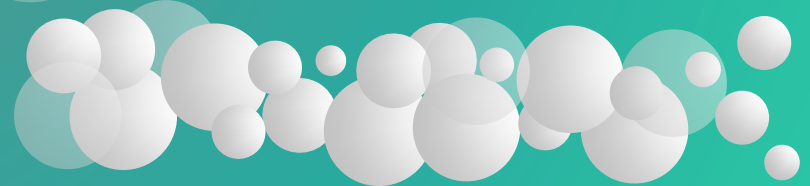
Pierderile de tip Joule se datorează prezenței curenților în înfășurări.



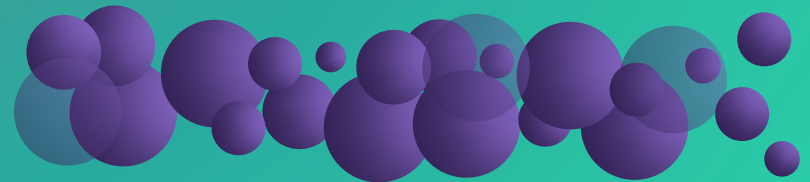
Pierderile in miezul magnetic includ pierderi prin histerezis și curenți turbionari dar și pierderi „de dantură”.

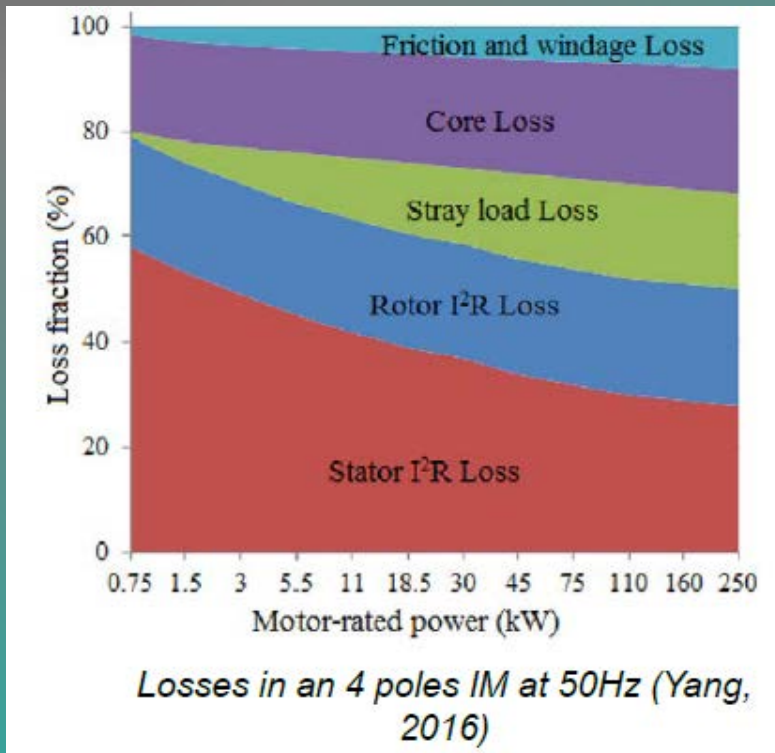


In magneții permanenți, mai ales dacă sunt plasați pe suprafața rotorului, apar pierderi prin curenți turbionari.



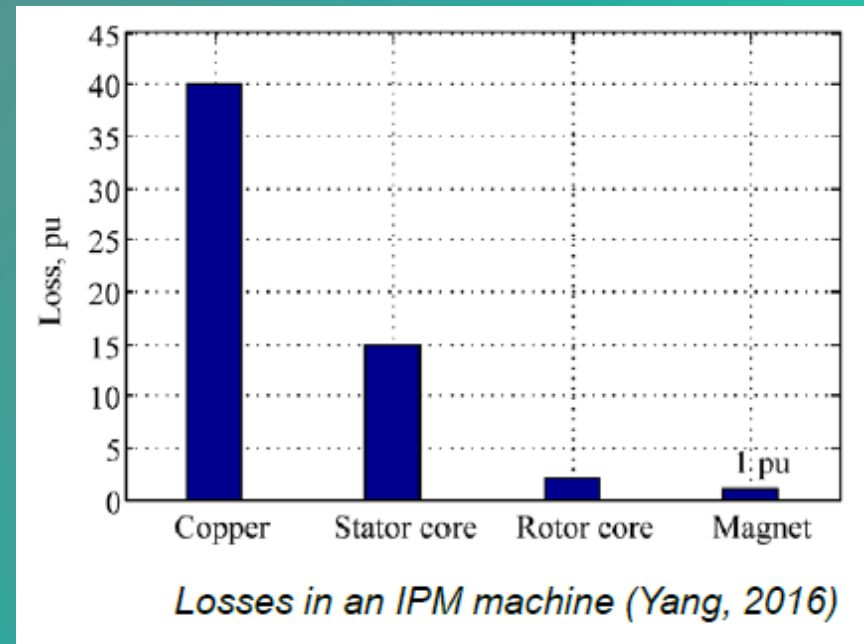
Pierderile mecanice includ componente de frecare mecanică dar și frecare aerodinamică.





Ponderea pierderilor într-un motor asincron cu 4 poli (la 50 Hz) în funcție de puterea nominală.

Ponderea pierderilor în mașinile sincrone cu magneți permanenți interiori.



Tipuri de ventilație



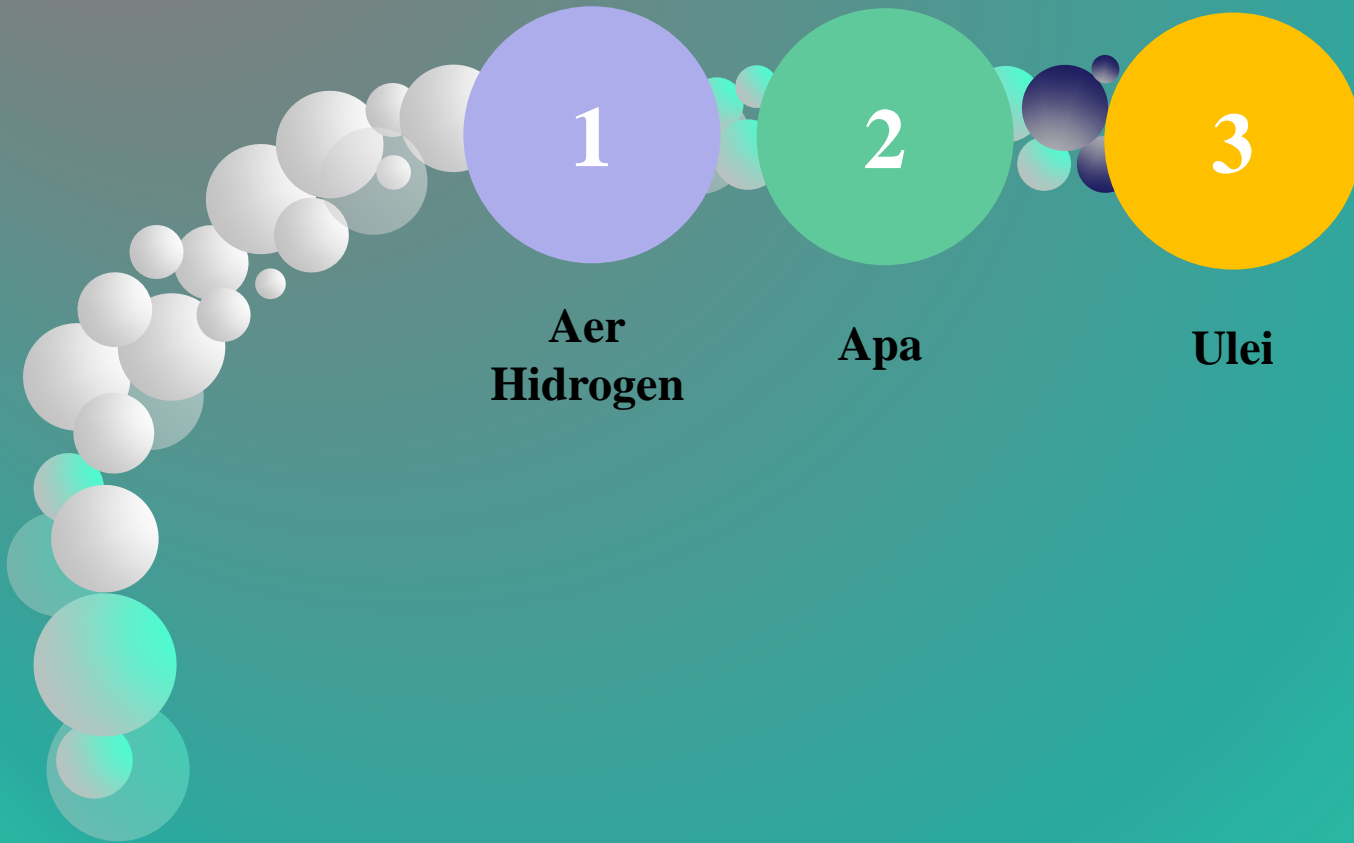
**Ventilație
naturală**

**Autoventilație
forțată**



**Ventilație
forțată
independentă**

Agent de răcire



Canale axiale de răcire

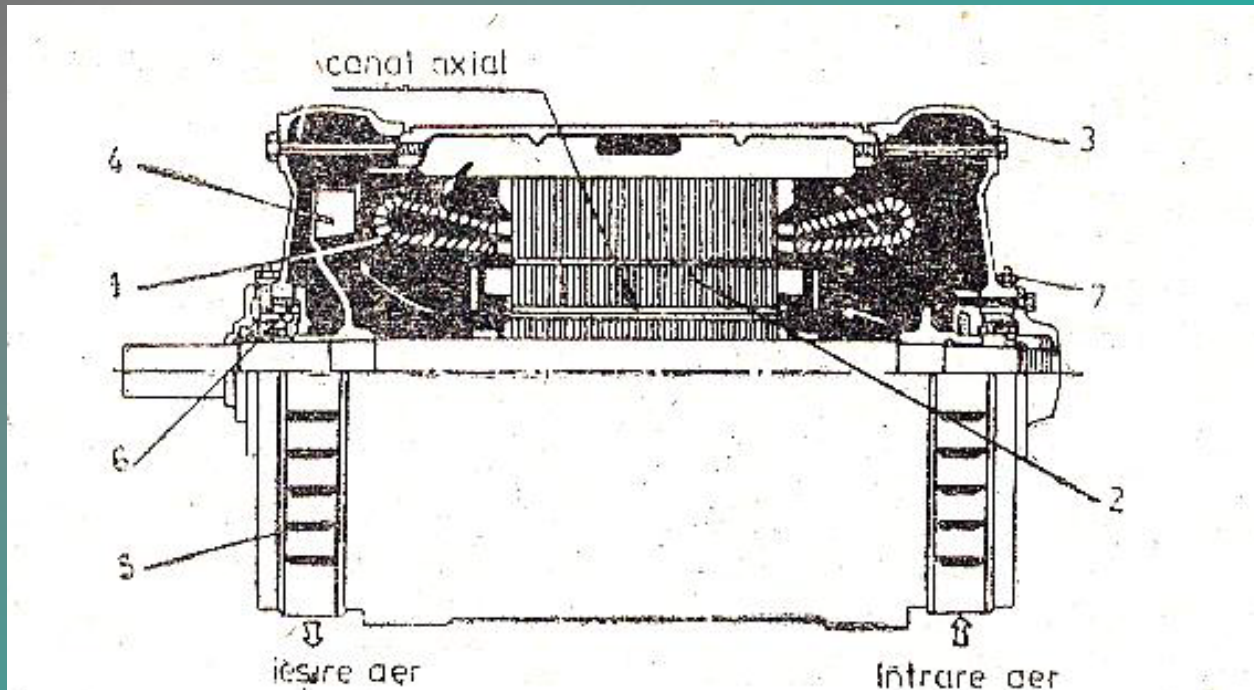


Fig. 1.12. Motor asincron cu rotorul în scurtcircuit cu autoventilație axială, protecție IP 23:

1 — înfășurarea statorului; 2 — miezul feromagnetic rotor cu canale axiale în lungul lui; 3 — scut portlagăr (port-palier) turnat din fontă; 4 — ventilatorul integrat (asamblat pe arborele mașinii); 5 — jaluzele contra pătrunderii stropilor de apă care cad sub un unghi de 60° , față de verticală; 6 — lagăr cu rulment, cu posibilitatea ungerii în timpul funcționării mașinii; 7 — unghător cu bilă.

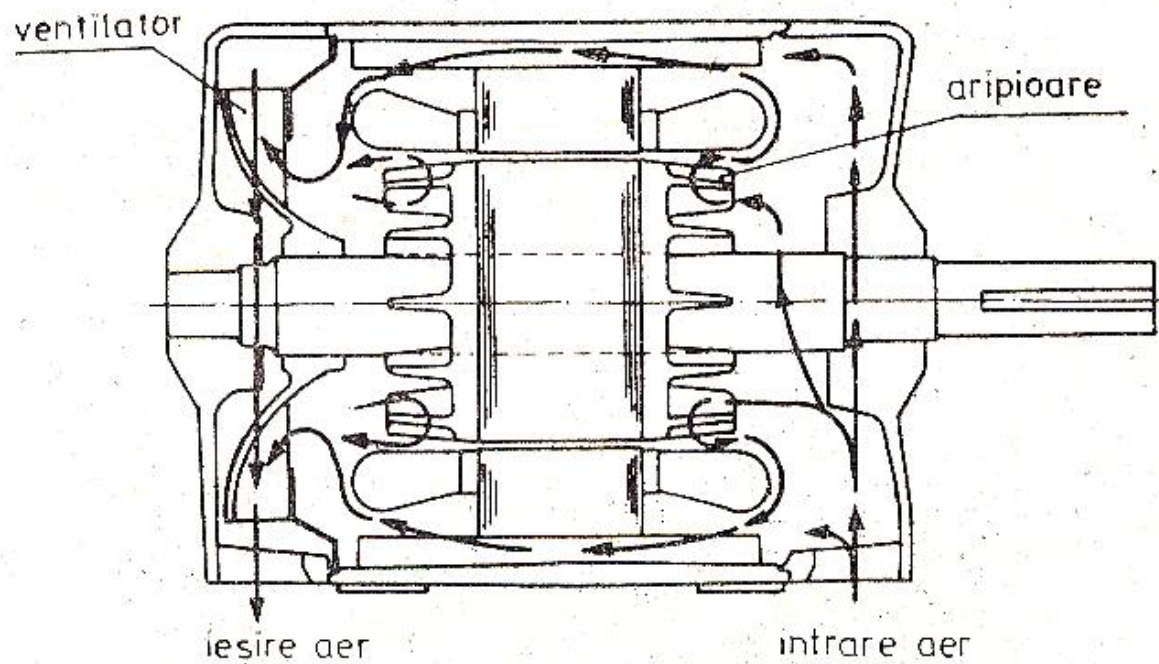


Fig. 1.13. Repartiția curenilor de aer într-un motor asincron de putere mică cu rotorul în scurtcircuit, prevăzut cu ventilator și aripioare în părțile frontale ale coliviei (turnate odată cu coliviei).

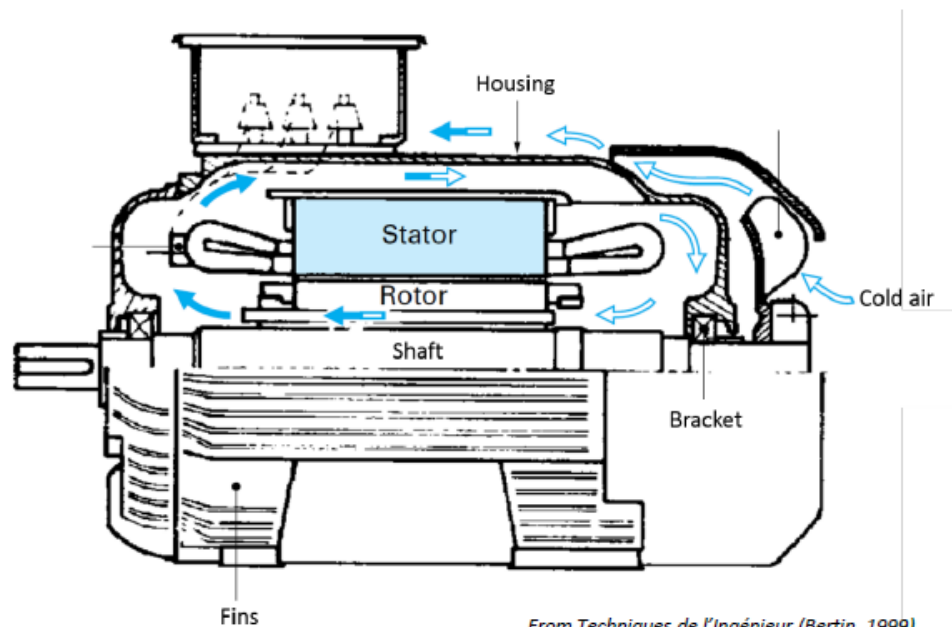
Ventilator interior



Aripioare practicate pe inelele de scurtcircuitare

Cooling architectures: Self ventilated machines

- **Totally enclosed machine:** air motion in the machine is induced by rotation of the rotor, a fan can blow air on the outer surface of the machine.
- **Fins** are often placed on the outer surface of the machine to increase exchange surface
- **Very common architecture** for low voltage motors
- Not suitable for high power density machines



From *Techniques de l'Ingénieur* (Bertin, 1999)

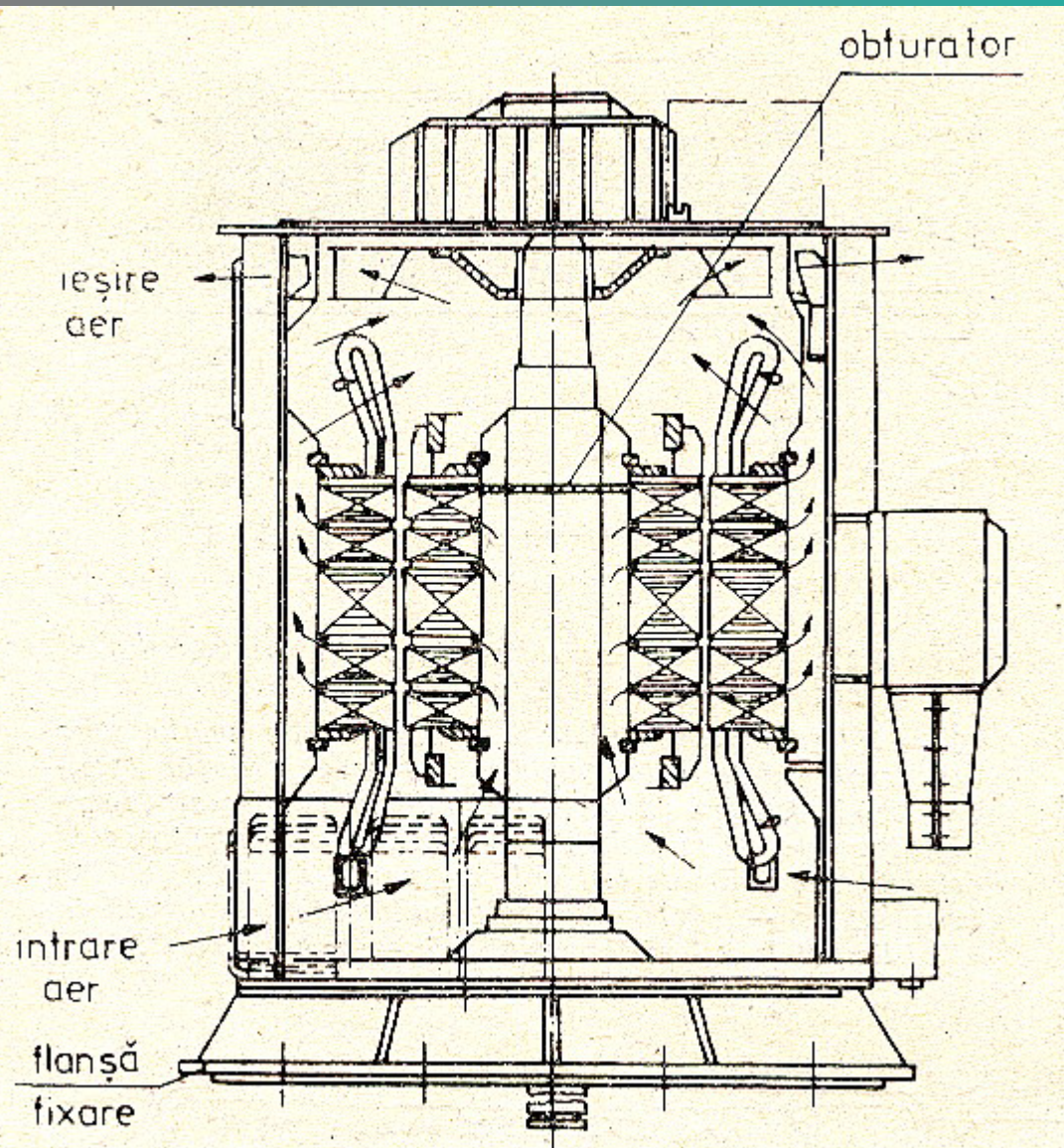
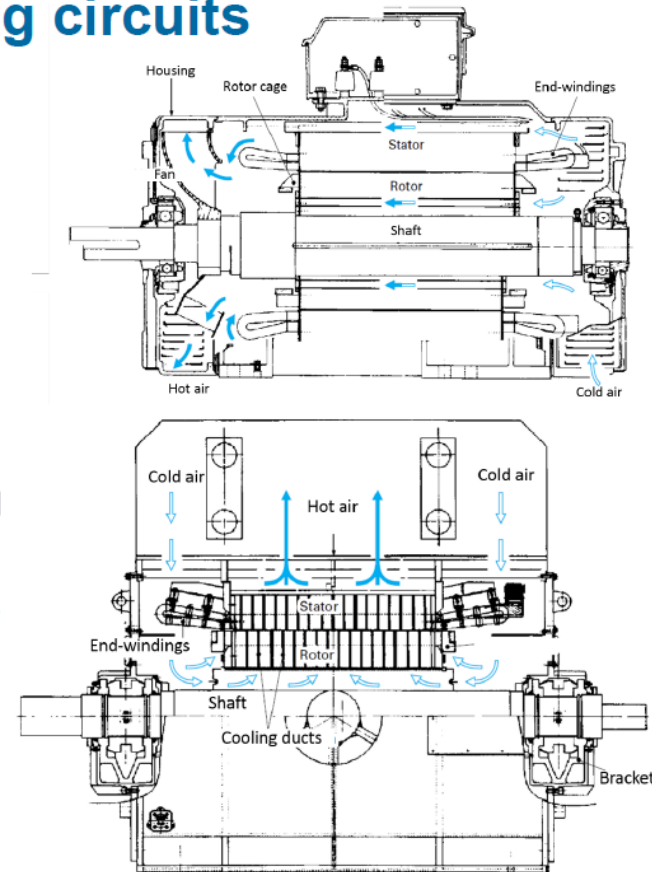


Fig. 1.14. Motor asincron vertical cu ventilație axial-radială.



Cooling architectures: Axial and Radial cooling circuits

- Air flow is controlled independently and guided inside the machine following either an **axial path** or a **radial path**
- Air is guided inside the rotor and stator by radial and axial **ventilation ducts**
- Topology for air-cooled **high power** machines like wind-turbines
- **Advantages:** good cooling inside the stator and rotor laminations, control of the external fans possible depending on the load
- **Drawbacks:** heat exchanger needed to cool down the air circuit, high power needed for the cooling
- **Axial and radial cooling can be mixed**



From Techniques de l'Ingénieur (Bertin, 1999)

Canale radiale de răcire + ventilatoare la ambele capete

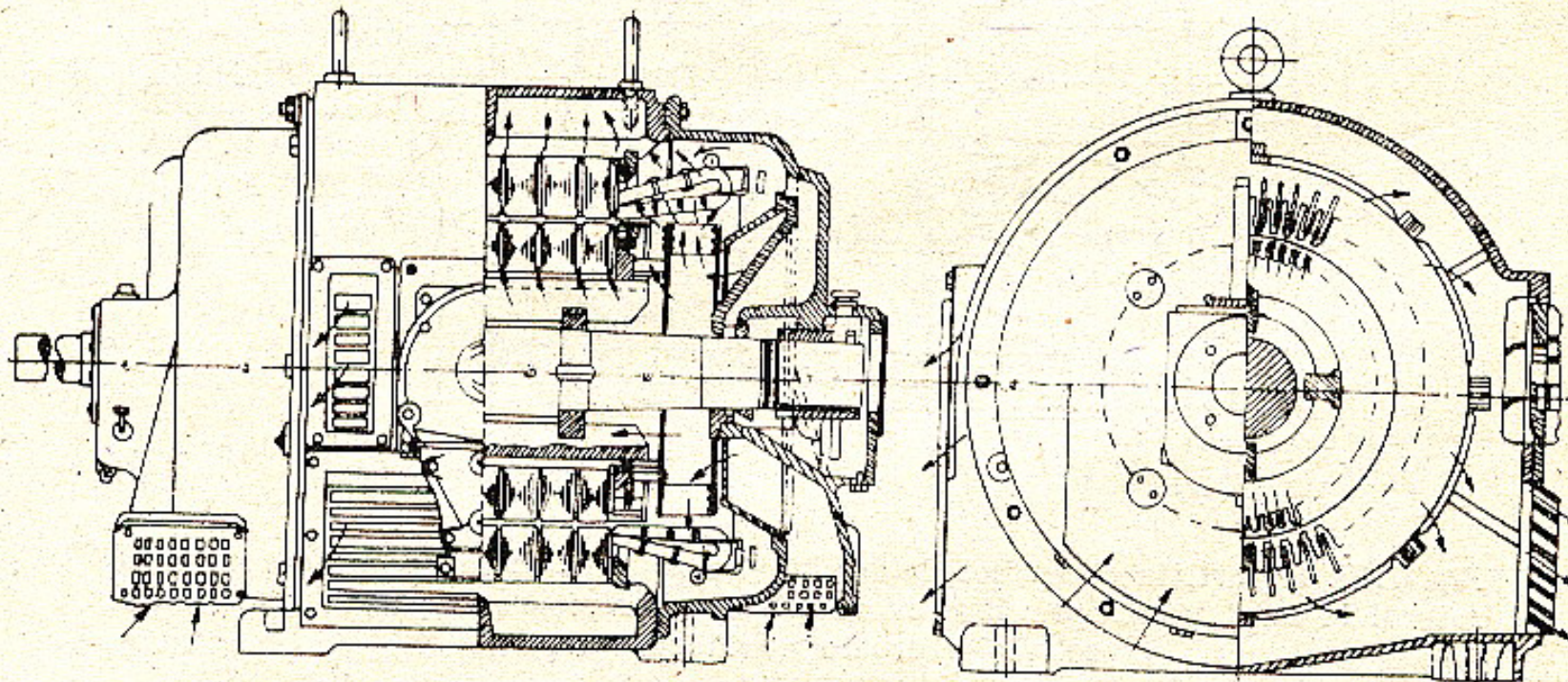


Fig. 1.15. Motor asincron cu ventilație radială bilaterală.

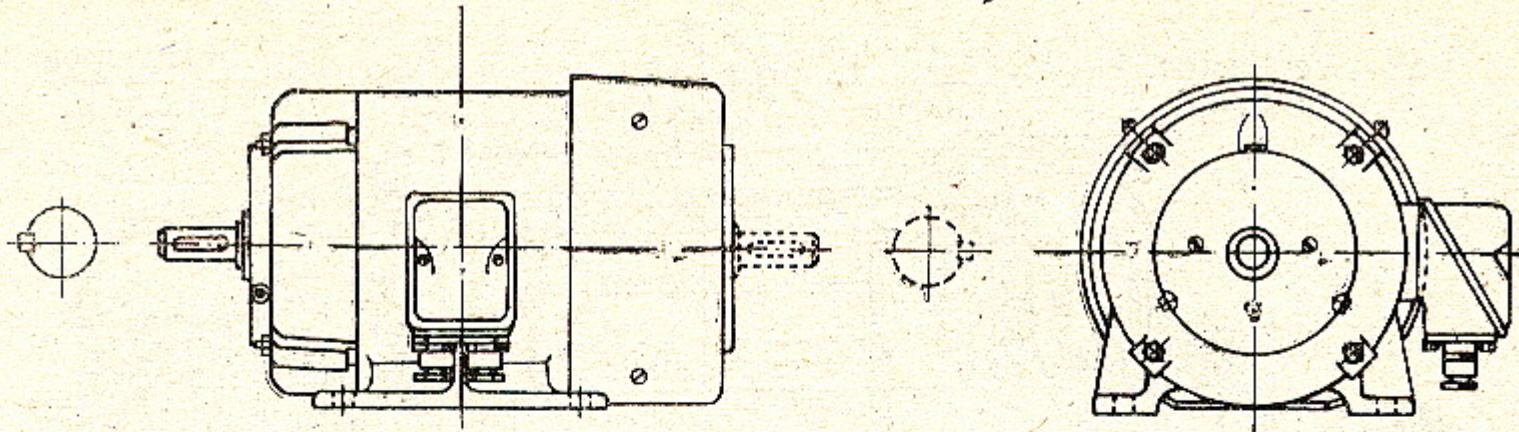


Fig. 1.16. Mașină închisă cu ventilație exterioară și carcasă netedă.

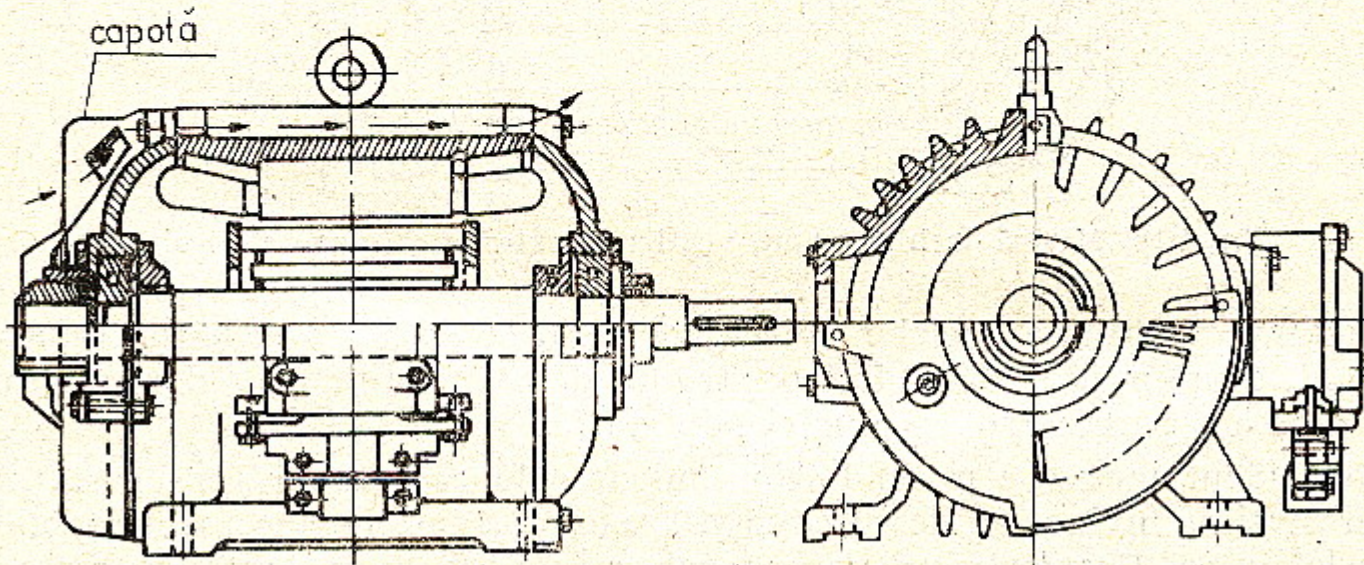
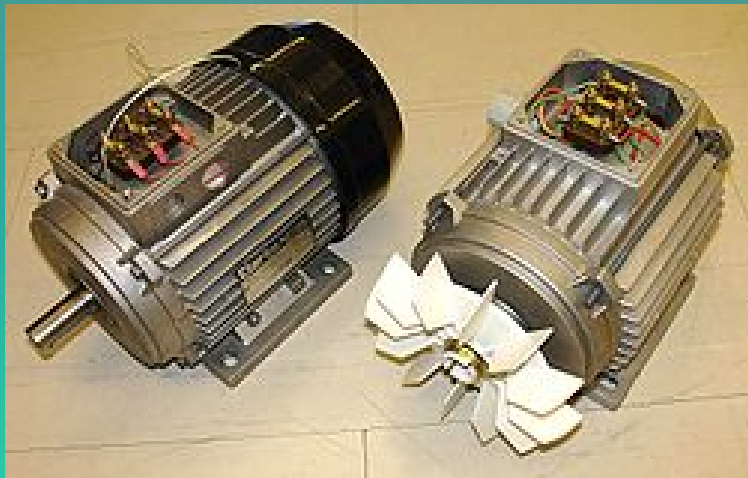
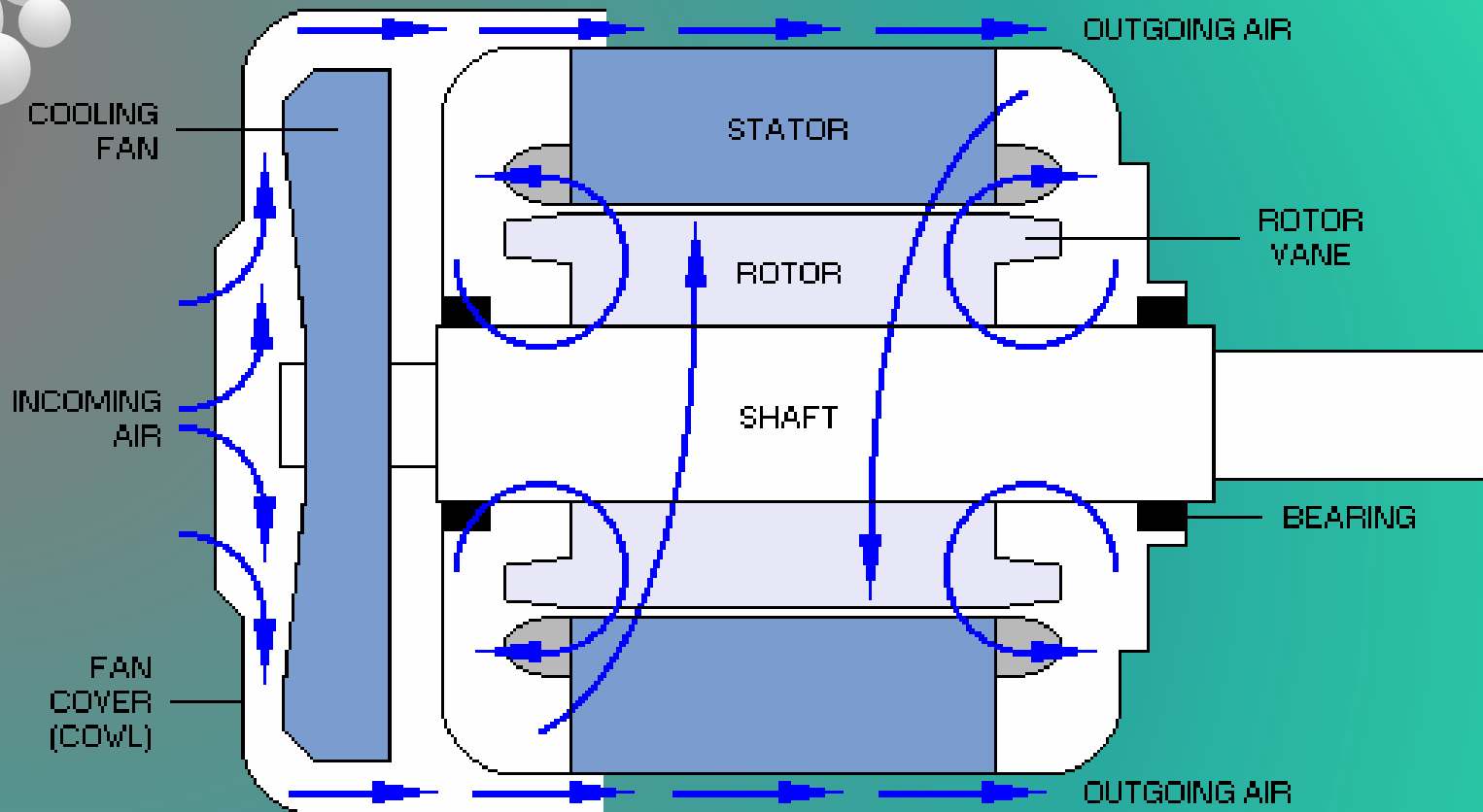


Fig. 1.17. Mașină închisă cu ventilație exterioară și carcasă cu nervuri.



Ventilatorul de pe ax are rolul de a crea un curent de aer pe suprafața carcusei.

În interiorul mașinii, circulația de aer se datorează aripioarelor înfășurării rotorice.

Răcire cu două ventilatoare (interior + exterior) – la mașinile închise

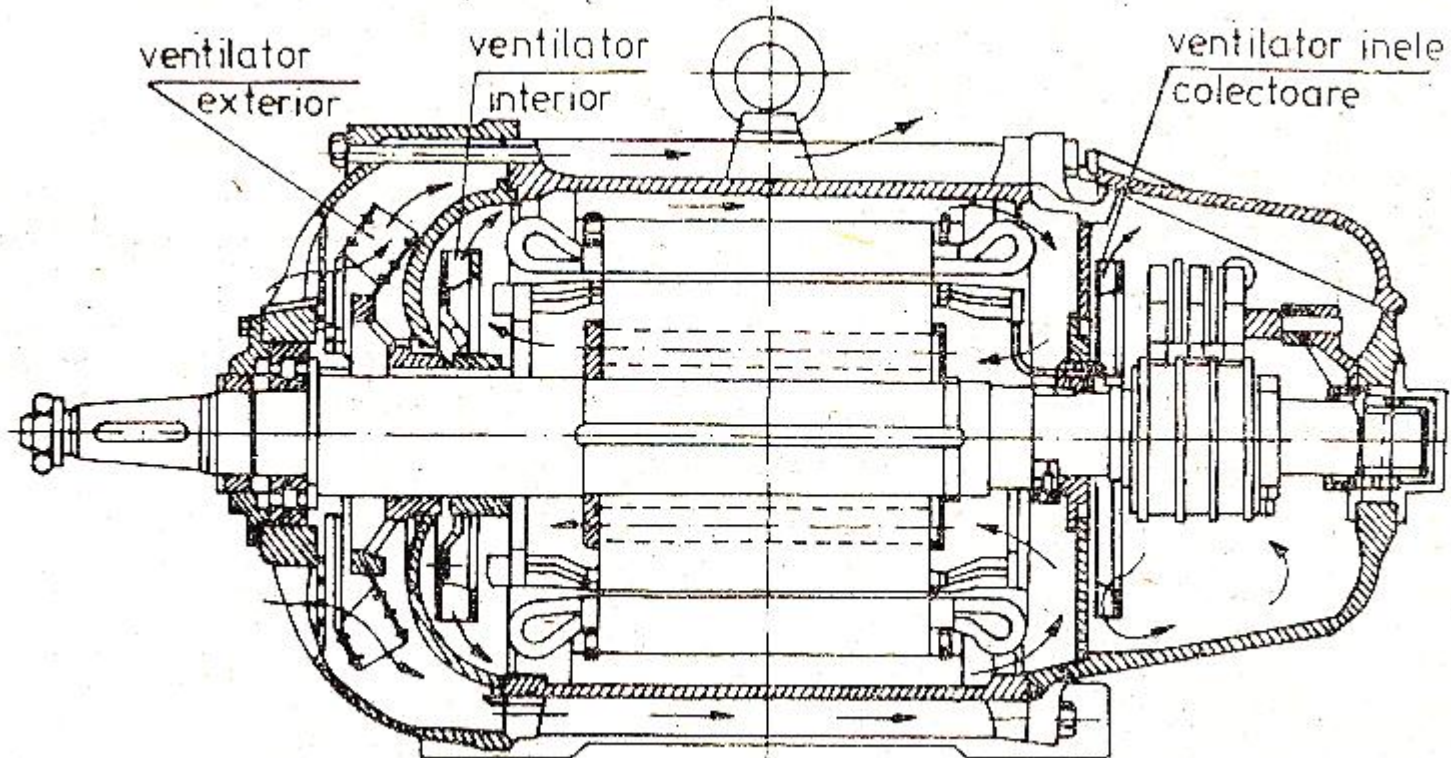
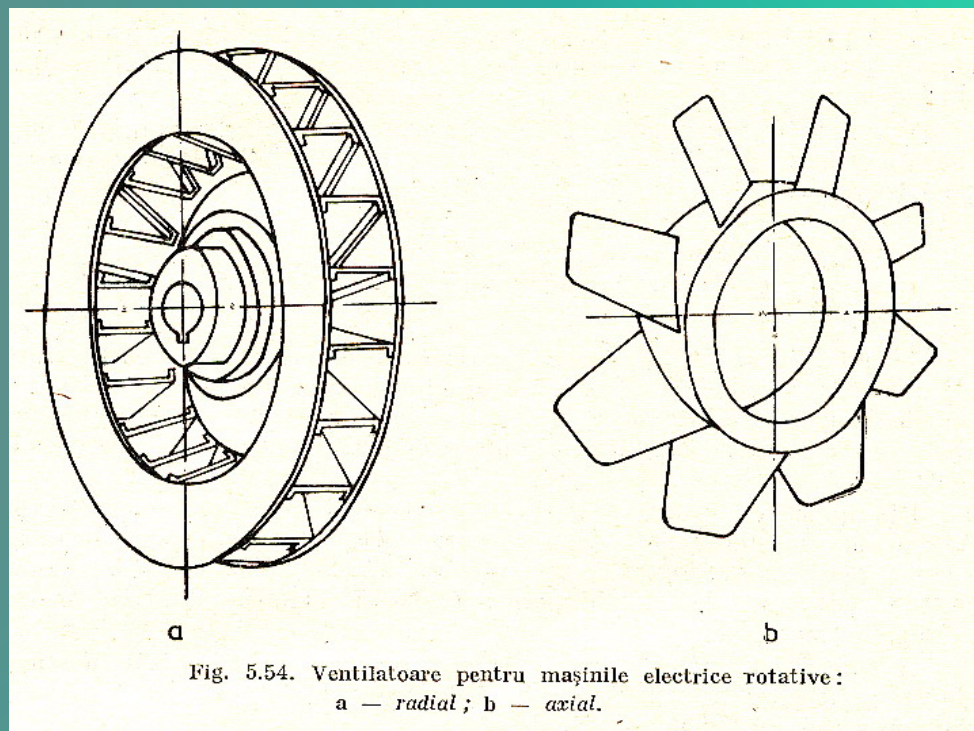


Fig. 1.18. Mașină închisă cu un ventilator exterior și unul interior.

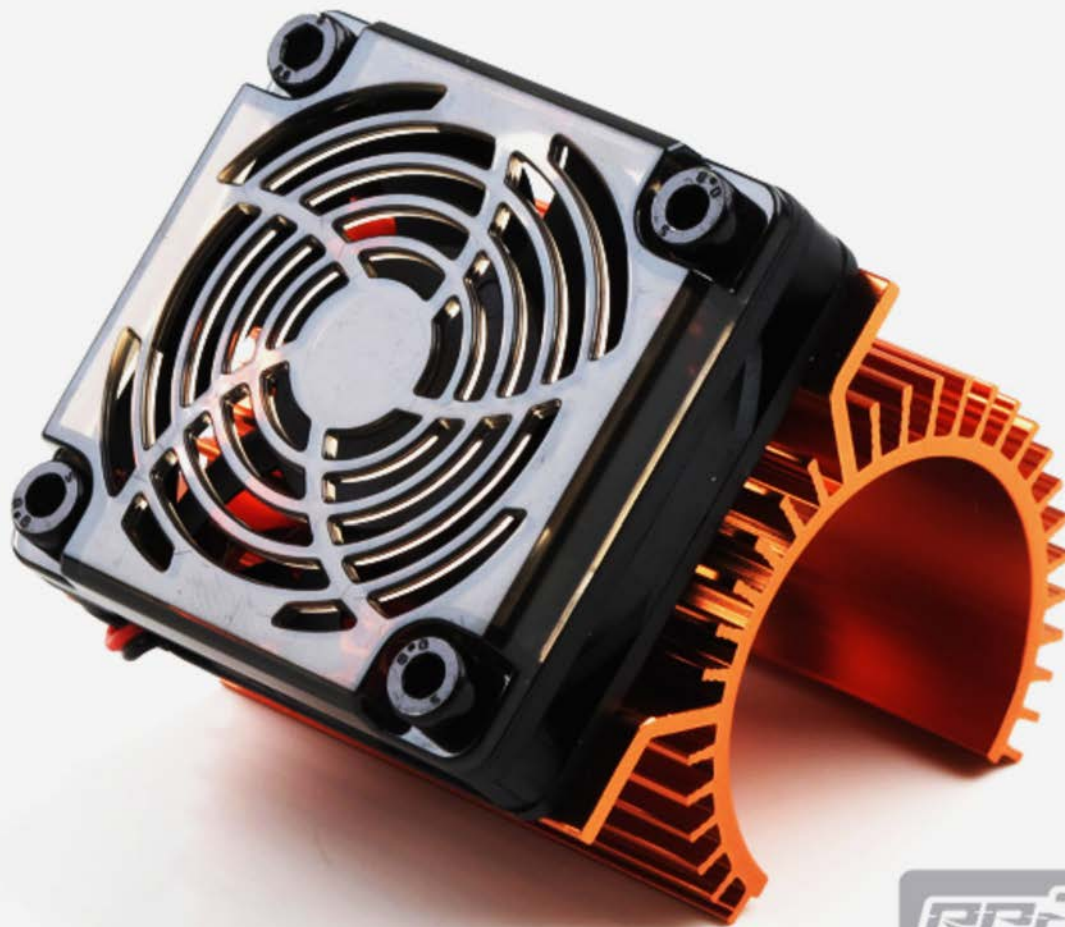
Tipuri de ventilatoare



SZYTF



Ventilator montat pe carcasa



REDUC[®]
TEL

Sistem de răcire cu țevi plasate pe carcasa mașinii prin care circula forțat aer rece

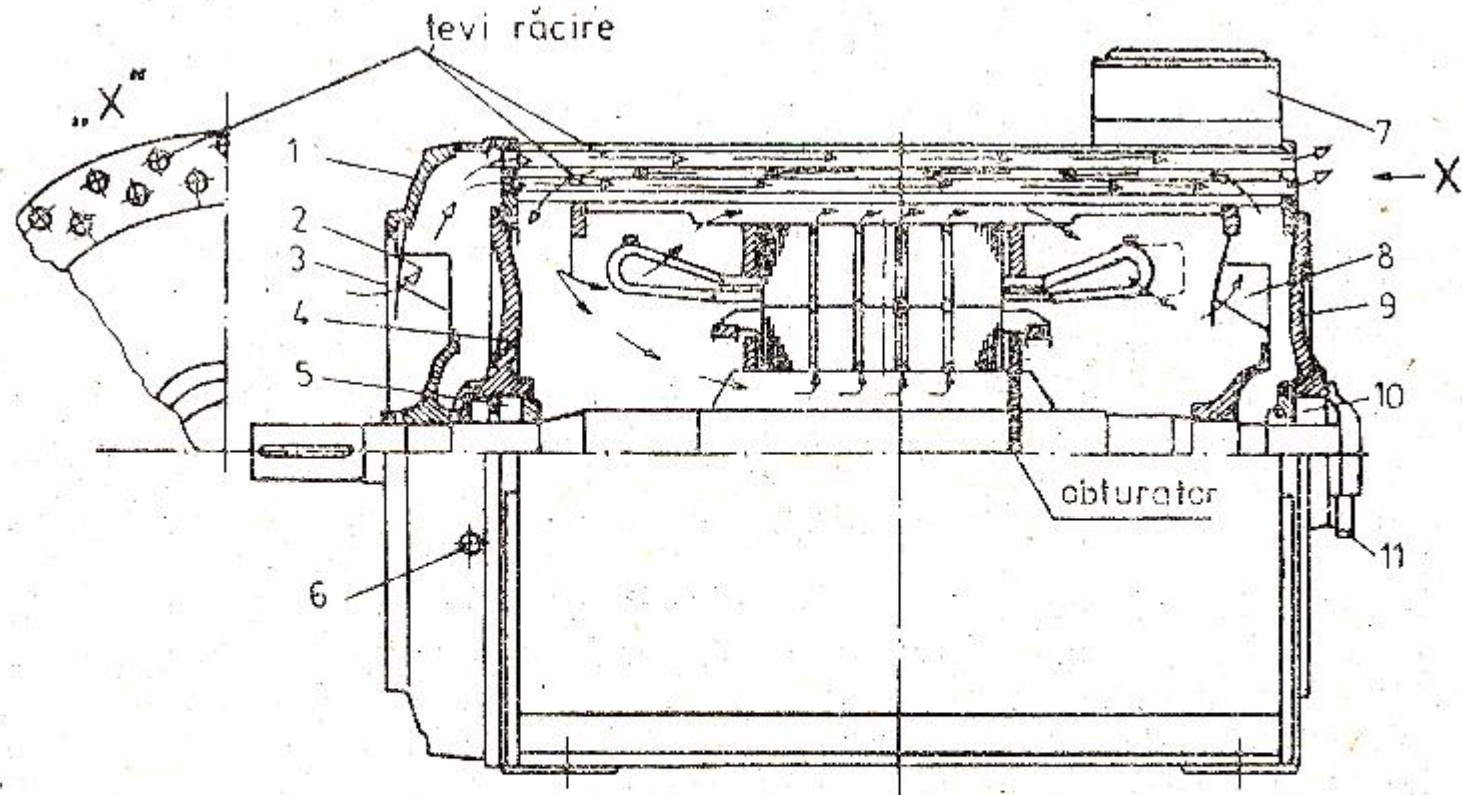


Fig. 1.19. Mașină închisă cu schimbător de căldură aer-aer, constituit din țevi dispuse pe circumferința carcasei :

- 1 — apărătoare deflector ; 2 — ventilator exterior ; 3 — plasă de srmă împletită, pentru protecție ;
4 — scut portlagăr parte tracțiune (PT) ; 5 — rulment PT ; 6 — canal colectare surplus de vaselină ;
7 — cutie borne ; 8 — ventilator interior ; 9 — scut portlagăr parte opusă tracțiunii ; 10 — rulment ;
11 — sertar colectare surplus de vaselină ;

- ▷ — circulația aerului exterior ;
—▶ — circulația aerului interior.

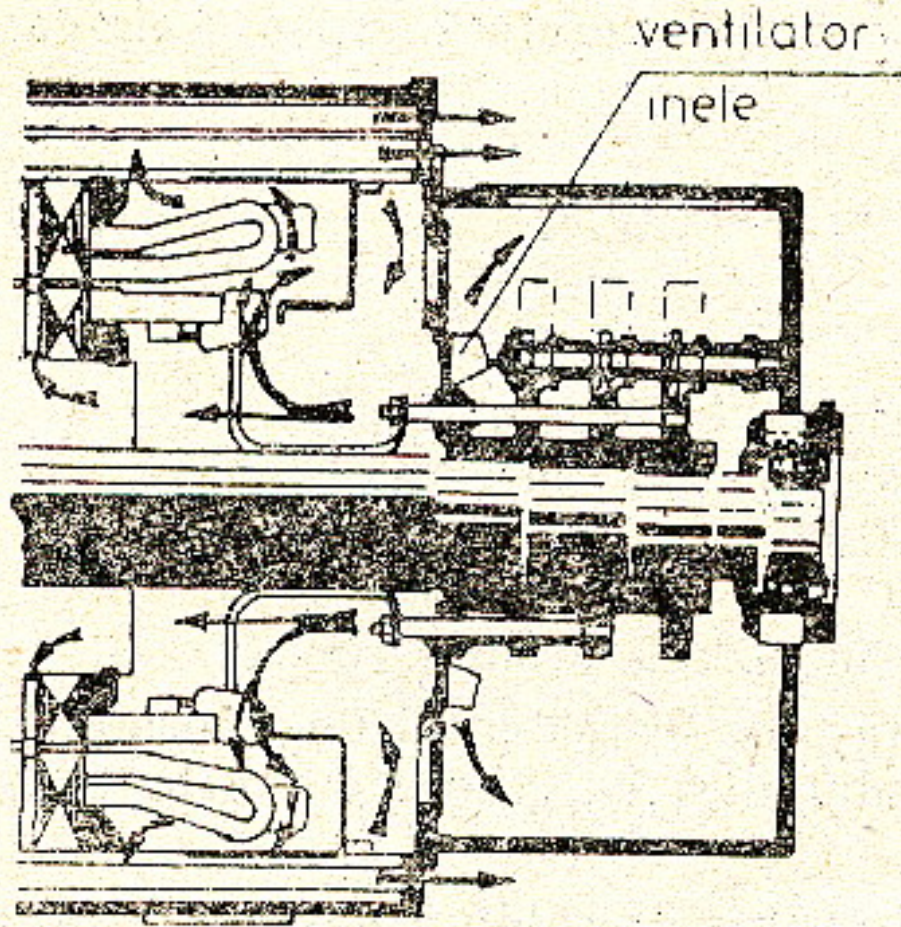


Fig. 1.20. Mașină închisă cu inele colectoare și cu schimbător de căldură aer-aer din țevi (vedere parțială).

Răcire cu schimbător de căldură aer-apă și circulație forțată a aerului

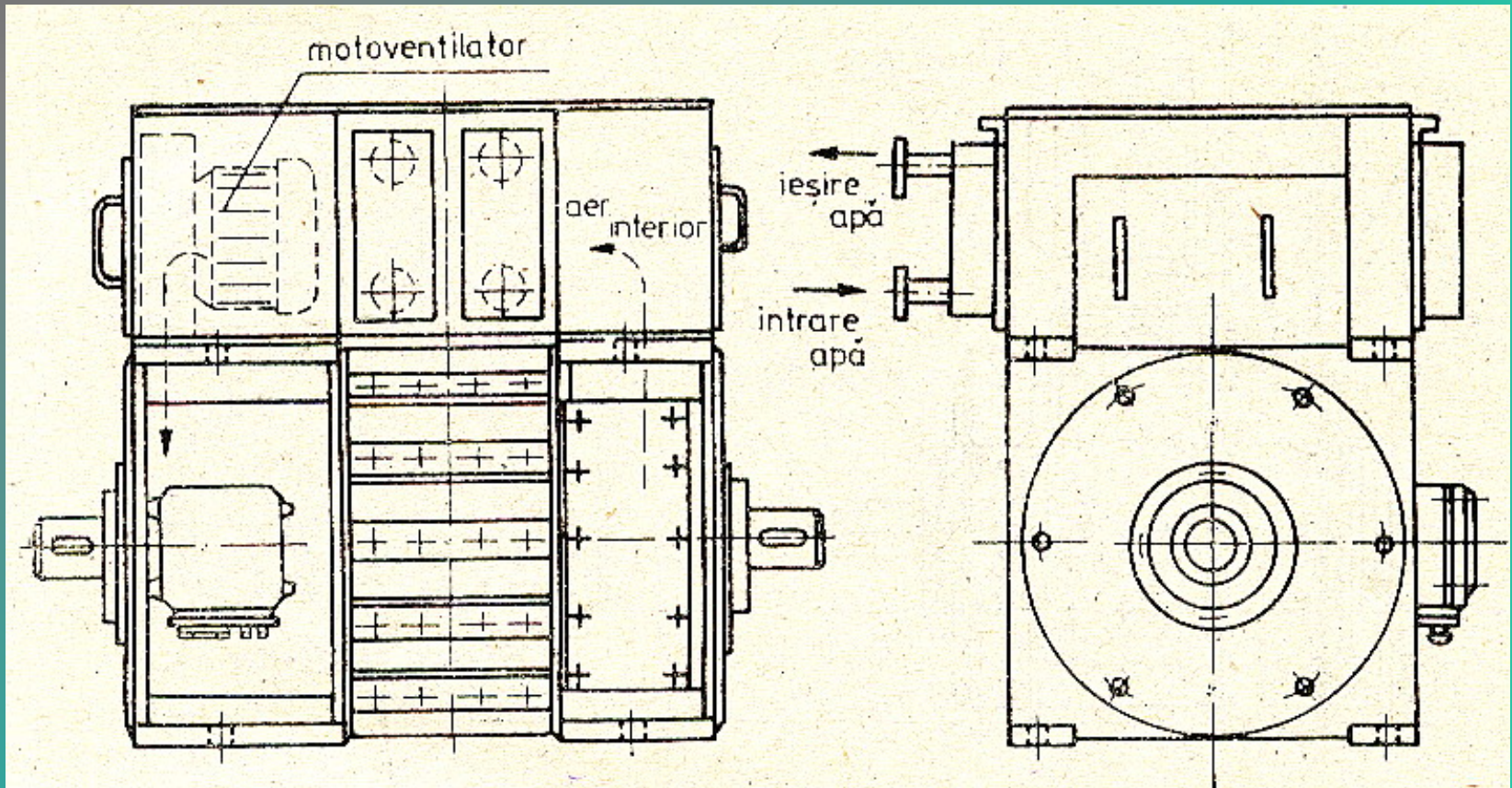
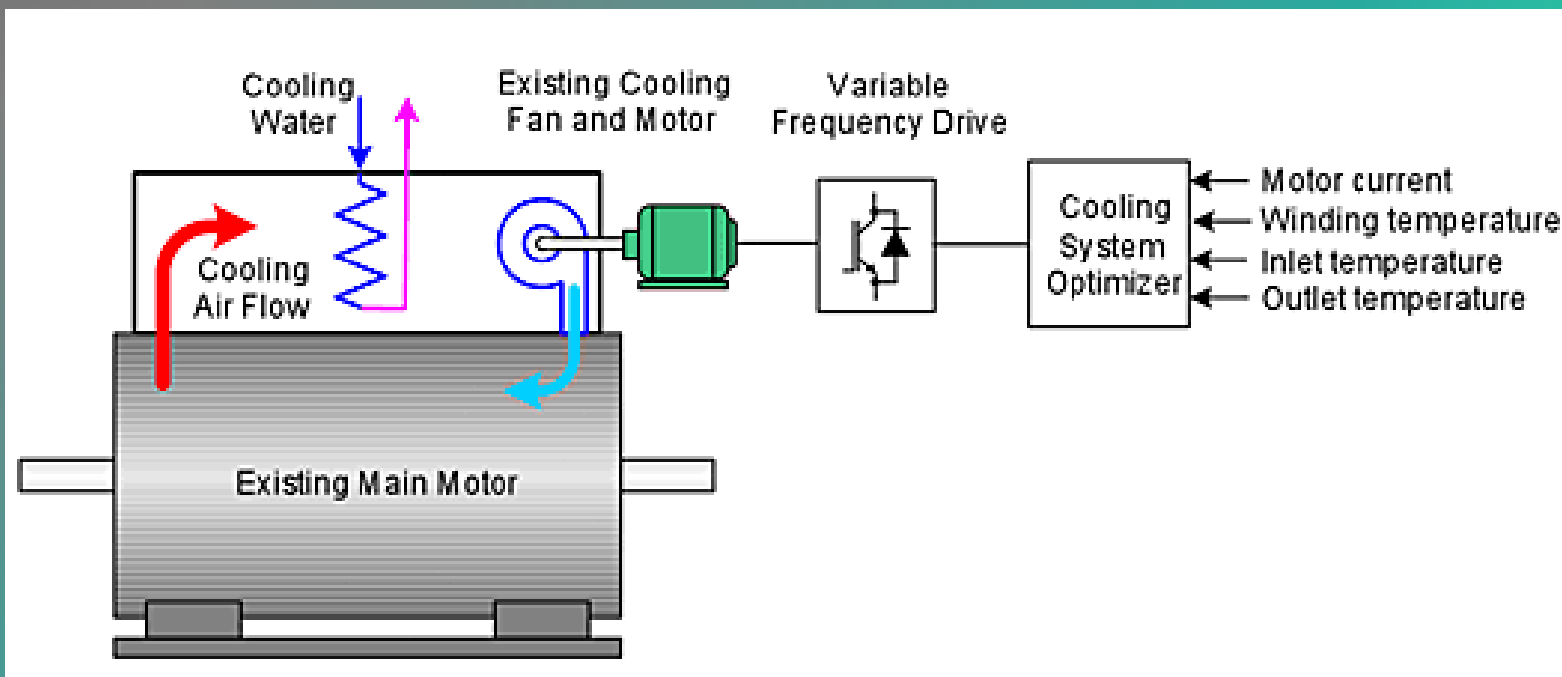


Fig. 1.21. Motor de curent continuu cu reglaj de turație, cu schimbător de căldură aer-apă, amplasat deasupra lui.

Soluție pentru eficientizarea răcirii unui motor de acționare a laminoarelor



Comanda ventilatorului de răcire ține cont de: valoarea curentului; temperatura înfășurărilor; temperatura de intrare sau ieșire a aerului de răcire.

Comanda cu motoventilator separat

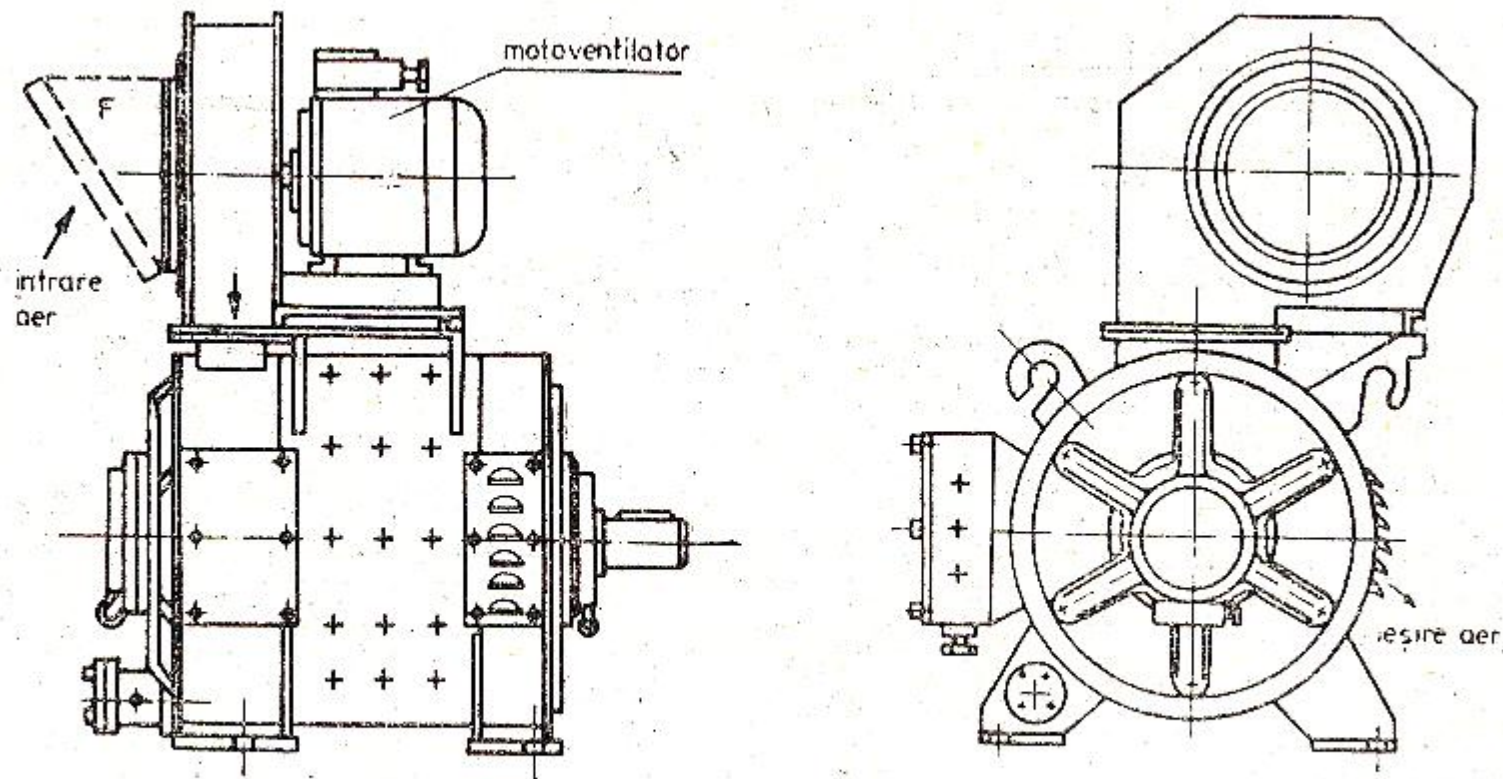


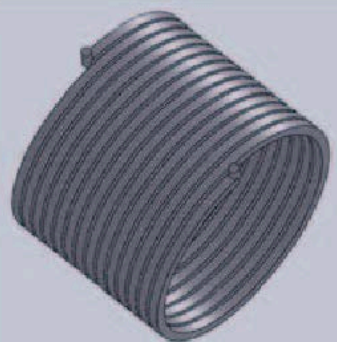
Fig. 1.22. Motor de curent continuu cu reglaj de turație cu ventilație independentă (motoventilator).

Poate fi prevăzut și cu filtru F.

Răcire cu apă – spirale parcurse de lichid și plasate pe miezul statoric



a. circumferential structure



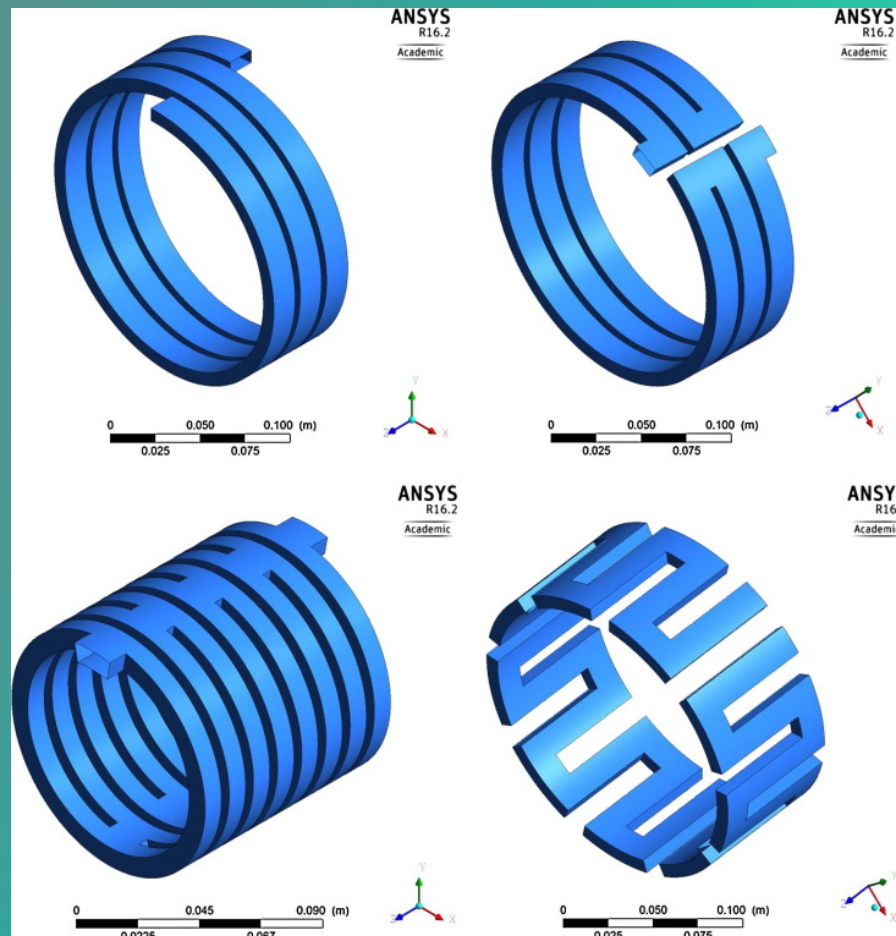
b. helical structure



c. half-helical structure

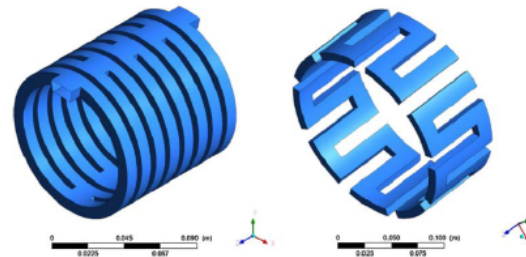


d. axial structure

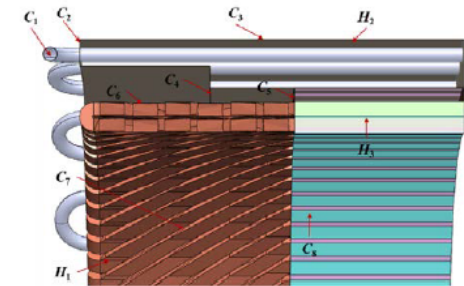


Cooling architectures: Liquid Cooling

- For **high power density machines**, air cooling is not enough and liquid cooling is needed
- Liquid is generally either **water** or **oil**
- Two main topologies: **water jackets** in the housing of the machines or **ducts** inside the machine
- **Very effective cooling** due to the liquid state of the coolant
- **High pumping power** needed for the system



Water jackets topologies (Satrústegui, 2017)



Water ducts inside a stator (Kim, 2017)



APM 120R motor for racing cars using oil cooling through ducts (Equipmake)

Motoare prevăzute cu „water jackets”



Main terminal box

Water inlet



Water circulation hoses

Water outlet

Accessories terminal box

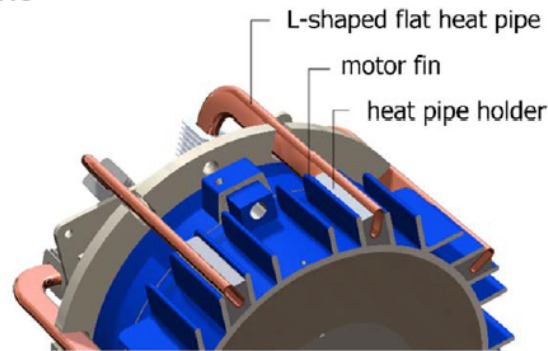
Cooling architectures: Other cooling devices

Oil jet and sprays cooling

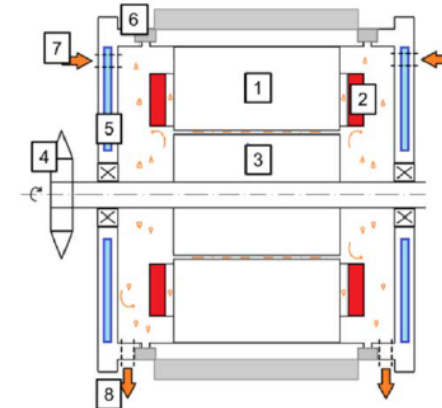
- Impinging **jets** or **sprays** directly on the **end-windings**.
- Very good cooling of end-windings.
- Mostly automotive applications

Heat pipes cooling

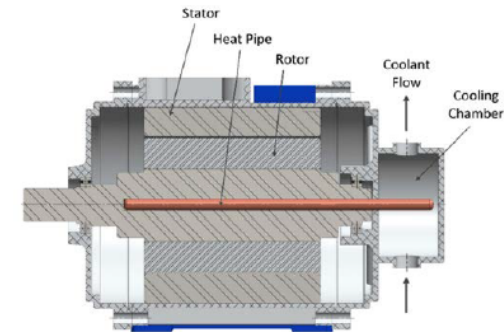
- Heat pipes are **passive cooling** devices using **phase change** phenomena
- For **high-end applications** (expensive) but **very effective** and **reliable**
- Aerospace and automotive applications



Heat pipes stator cooling (Putra, 2017)

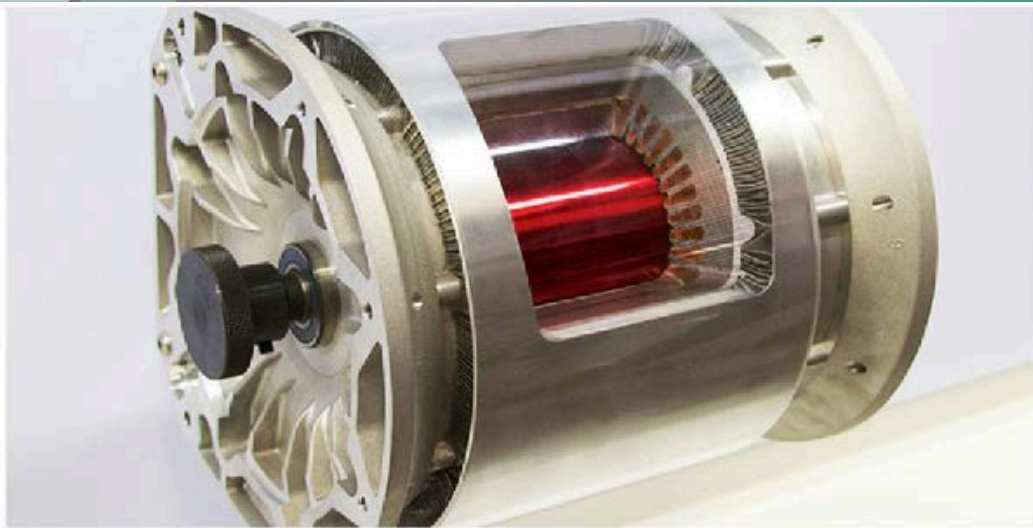


Schematics of spray cooling used by Renault (Davín, 2017)

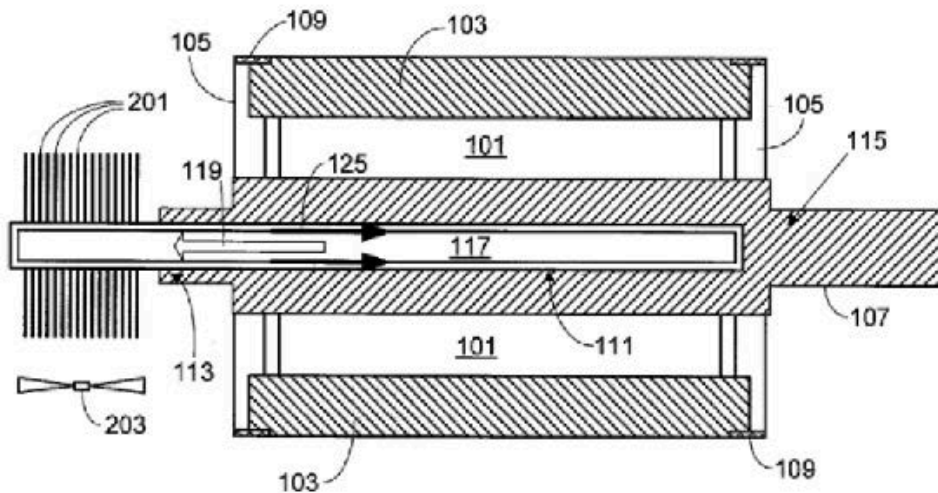


Tesla Rotor cooling with heat pipes (Putra, 2017)

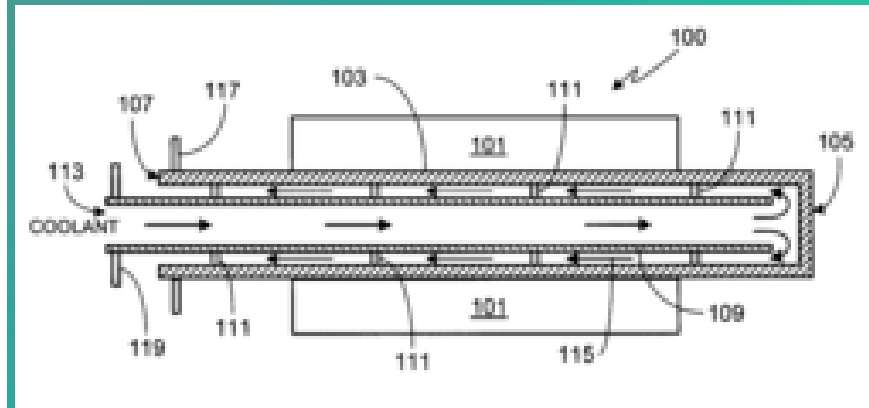
Motor asincron (Model Tesla S) – răcire cu apă



(a)



(b)

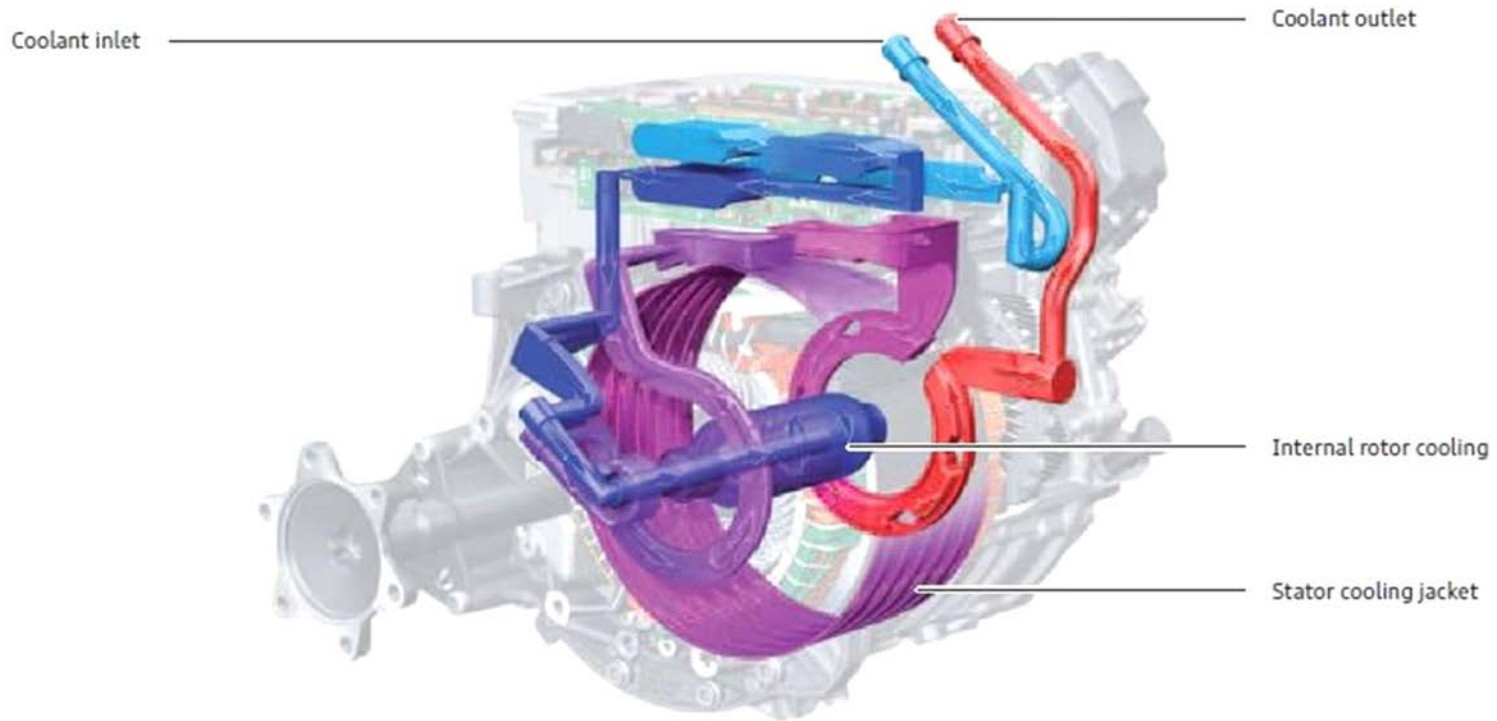


Sistemul de răcire cu apă al motorului electric de propulsie Tesla S

Front axle

The power electronics and the electric drive motor are connected in series within the coolant circuit. The coolant flows first through the power electronics and then through the “water lance” on the

front axle to enable the internal rotor cooling. The coolant subsequently flows through the stator cooling jacket and back into the circuit.



Sistemul hibrid de răcire cu apă și aer

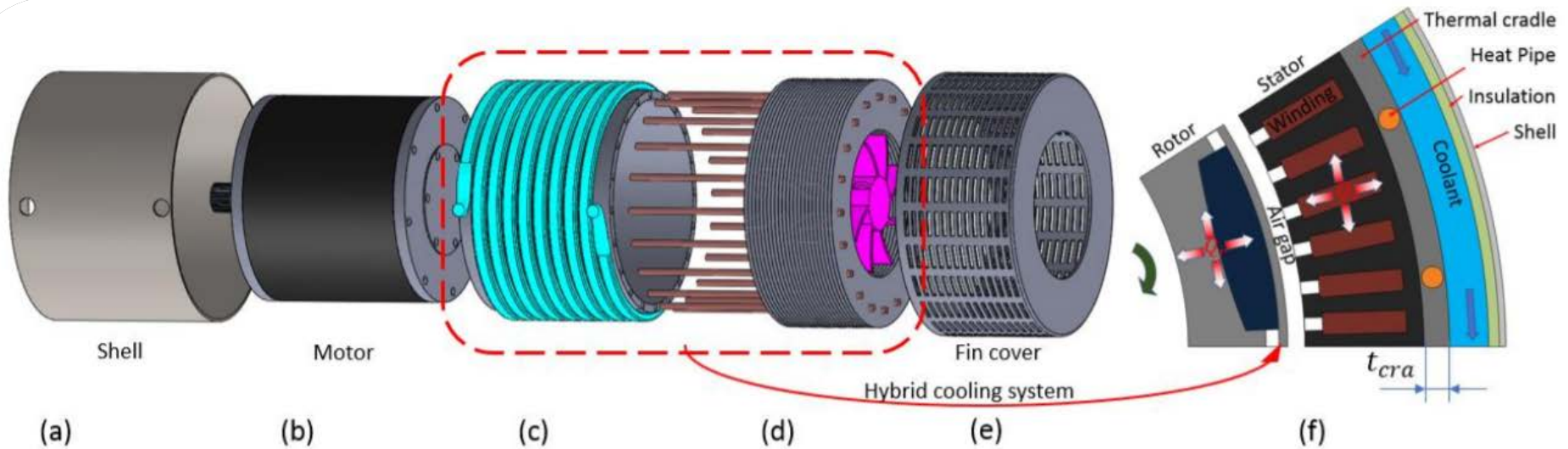


Fig. 2. Electric motor cooling system configuration – (a) motor shell; (b) electric motor; (c) thermal cradle and coolant jacket; (d) heat pipes, fin structure heat exchanger, and centrifugal fan; (e) heat exchanger cover; and (f) cutaway view of motor cooling concept

Sistem de îmbunătățire a răcirii prin utilizarea de benzi izolatoare cu conducție ridicată

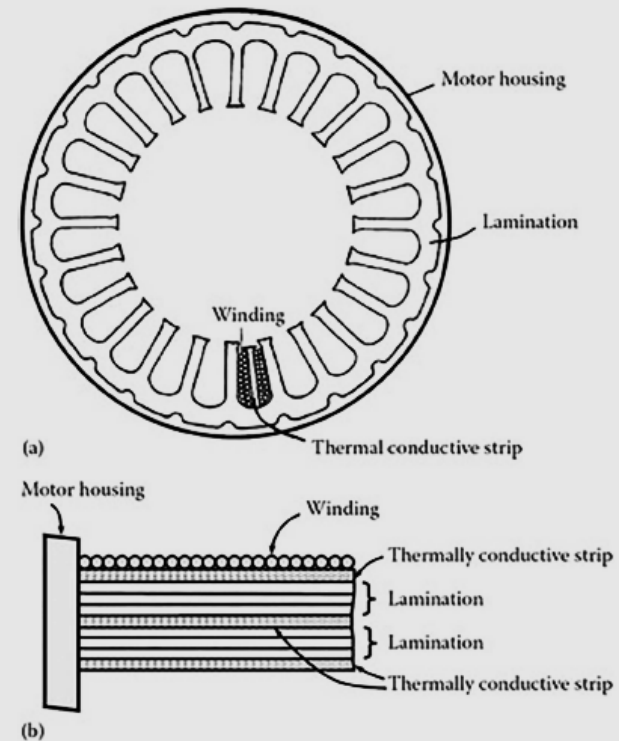


FIGURE 11.3 Using thermally conductive strips in motor cooling: (a) placed between winding coils and (b) interleaved into stacked motor laminations (U.S. Patent 6,777,835) [11.11]. (Courtesy of the U.S. Patent and Trademark Office, Alexandria, VA.)

environment. In Figure 11.3b, the thermally conductive strips are sandwiched between stacked stator laminations. In this way, heat generated inside the stator core due to the losses from eddy currents and hysteresis is conducted directly from the interior of the stator to the motor outer portions by means of these strips. Because these thermally conductive strips are directly contacted with heat sources, the cooling efficiency is considerably high. As a fact, this cooling technique can result in a significant reduction of weight and volume of motor, along with a substantial increase in the power density while operating at a moderate temperature above ambient.

There are a variety of advanced materials having exceptionally high thermal conductivities. Among them, the monolithic carbonaceous material is well known as the best thermally conductive materials, such as diamonds that are made from chemical vapor deposition (CVD) at low pressures and low temperatures. One of the remarkable properties of diamond is its unsurpassed thermal conductivity. With a value of $1800 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ and higher at room temperature, it exceeds that of copper (approximately $400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ at room temperature) by a factor of 4.5 [11.12]. Furthermore, diamond had been the world's hardest material until recent years [11.13].

Conform „Mechanical Design and Manufacturing of Electrical Machines”- Wei Tong (2022)

Sistem de îmbunătățire a răcirii prin crearea unor circuite magnetice cu nervuri

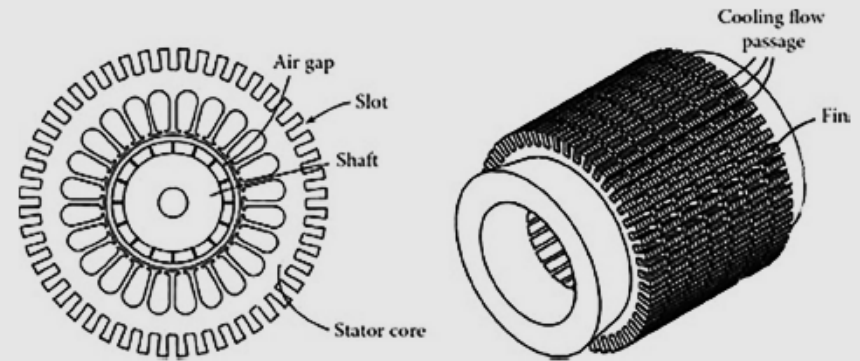


FIGURE 11.15 Stator laminations are stacked to form extending fins on the stator outer surface (U.S. Patent 8,053,938) [11.27]. (Courtesy of the U.S. Patent and Trademark Office, Alexandria, VA.)

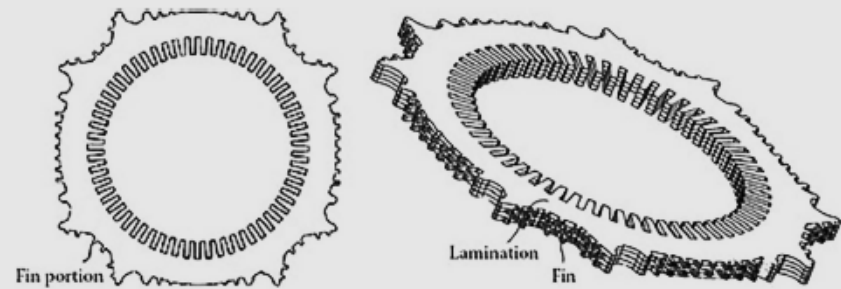
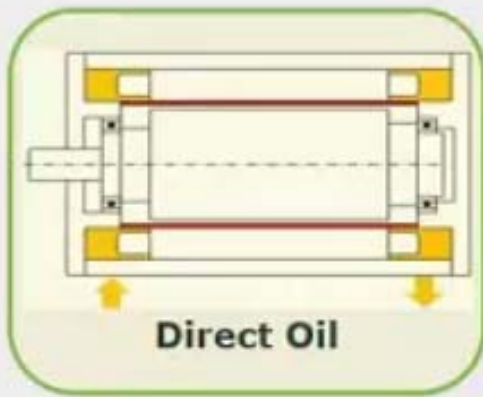
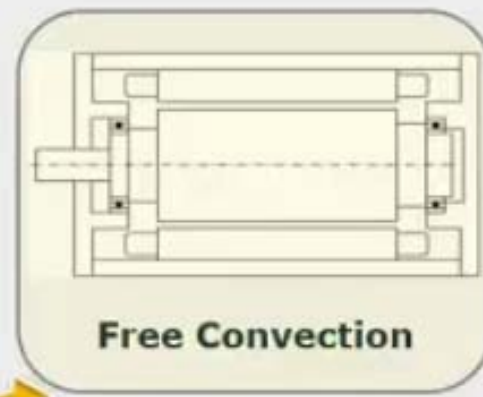


FIGURE 11.16 Fins formed from stacked stator laminations at the outer surface of the stator (WO 2005/022718) [11.28]. (Courtesy of World Intellectual Property Organization, Geneva, Switzerland.)

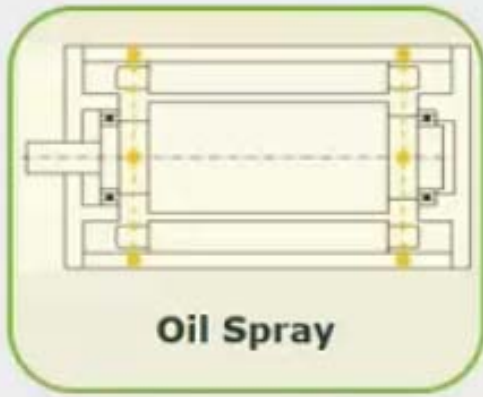
6



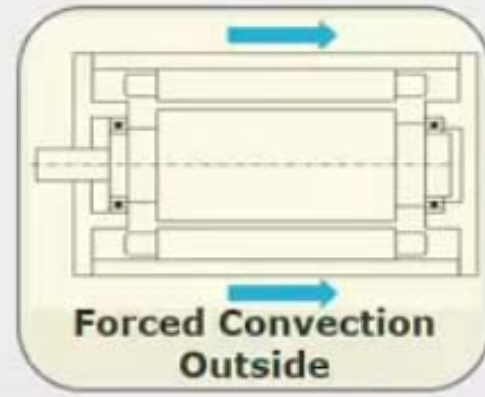
1



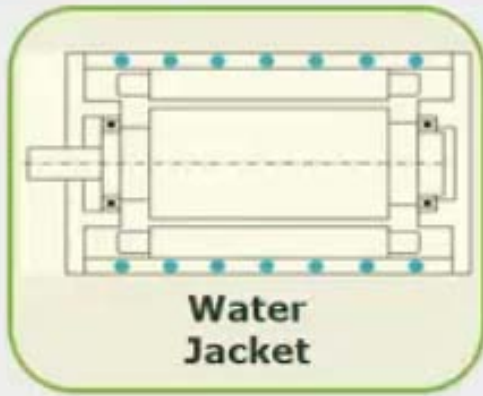
5



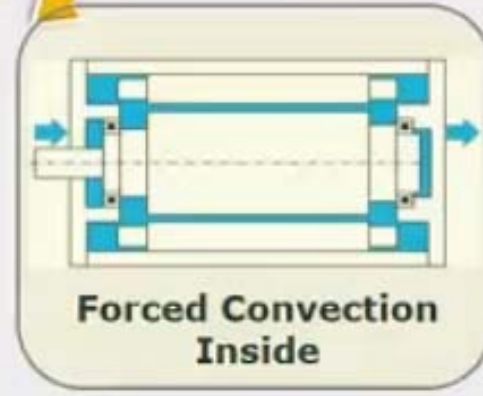
2



4



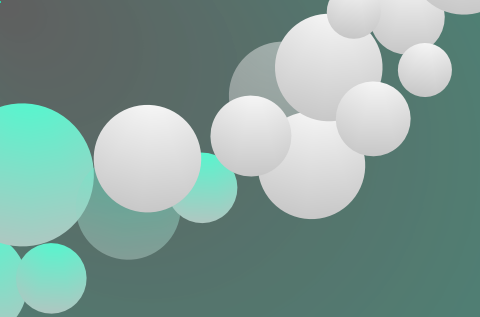
3



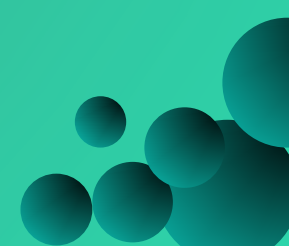
Suitable for automotive propulsion machines

TABLE 11.1**Heat Transfer Coefficients of Different Heat Transfer Modes with Different Coolants**

Heat Transfer Mode	Heat Transfer Coefficient (W/m ² ·K)	References
Conduction	5–25	
Natural convection (air)	5–30	[11.7, 11.8]
Natural convection (FC)	10–100	[11.7, 11.8]
Natural convection (water)	30–300	[11.7, 11.8]
Forced convection (air)	20–200	[11.7, 11.8]
Forced convection (FC)	50–300	[11.7, 11.8]
Forced convection (water)	300–8,000	[11.7, 11.8]
Forced jet (air)	200–800	[11.7, 11.8]
Forced jet (FC)	2,000–20,000	[11.7, 11.8]
Forced jet (water)	8,000–50,000	[11.7, 11.8]

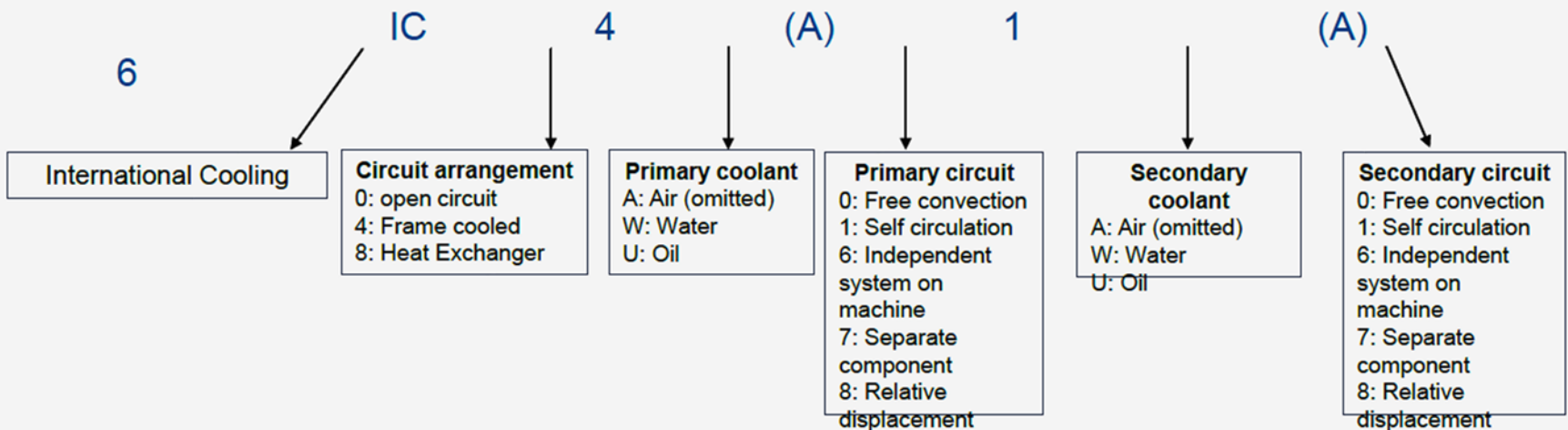


Cooling System	Current density A/mm^2	Cooling efficiency	Complexity	Energy cost
Free convection	1.5 – 5	Low	Simple	None
Forced convection	5 – 10	Medium	Medium	Low
Liquid cooling	10 – 30	High	Complex	High

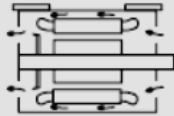
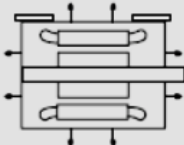
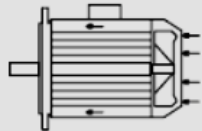
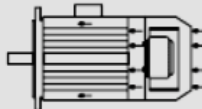
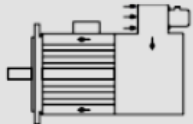
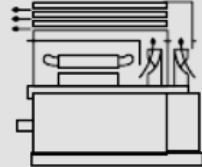


Cooling architectures: IEC standards

- **Based on standard IEC 60034-6**
- Primary coolant: coolant directly in contact with the machine (air most of the time)
- Secondary coolant: coolant for a primary coolant
- **Designation example** of a cooling circuit, designation can be different for rotor and stator if the circuits are different:



IEC 60034-6

Code	Description	Drawing
IC 01	<ul style="list-style-type: none"> - Open machine - Fan mounted on shaft - Often called 'drip-proof' motor 	
IC 40 (New : IC 410)	<ul style="list-style-type: none"> - Enclosed machine - Surface cooled by natural convection and radiation - No external fan 	
IC 41 (New : IC 411)	<ul style="list-style-type: none"> - Enclosed machine - Smooth or finned casing - External shaft-mounted fan - Often called TEFC motor 	
IC 43 A (New : IC 416A)	<ul style="list-style-type: none"> - Enclosed machine - Smooth or finned casing - External motorized Axial fan supplied with machine 	
IC 43 R (New : IC 416R)	<ul style="list-style-type: none"> - Enclosed machine - Smooth or finned casing - External motorized Radial fan supplied with machine 	
IC 61 (New : IC 610)	<ul style="list-style-type: none"> - Enclosed machine - Heat Exchanger fitted - Two separate air circuits - Shaft-mounted Fans - Often called CacA motor 	

VENTILAȚIE

Cuvinte
cheie



canale de răcire (axiale, radiale)



ventilator pe ax (interior, exterior)



aripioare de răcire (pe inele de sc, pe carcasa)



schimbătoare de căldura (aer-aer, aer-apa)



grup separat de ventilație

Din punctul de vedere al ventilației,
funcționarea dar și proiectarea unei mașini
electrice trebuie pusă în acord cu următoarele:



Mașină cu funcționare la viteză variabilă



Altitudinea de funcționare (sub sau peste 1000 m)



Temperatura mediului ambiant (sub sau peste 40°)

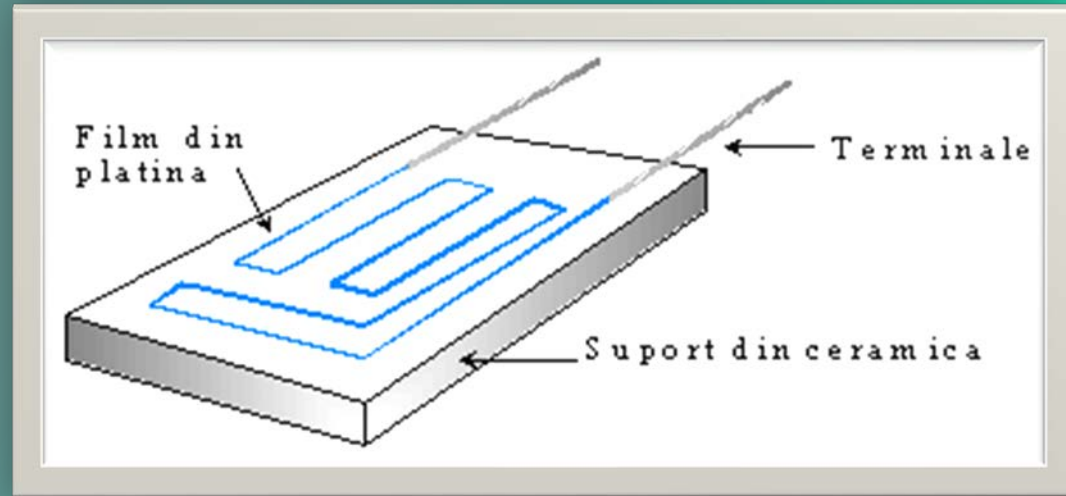
MASURAREA TEMPERATURII UNEI MASINI ELECTRICE

Camera termoviziune

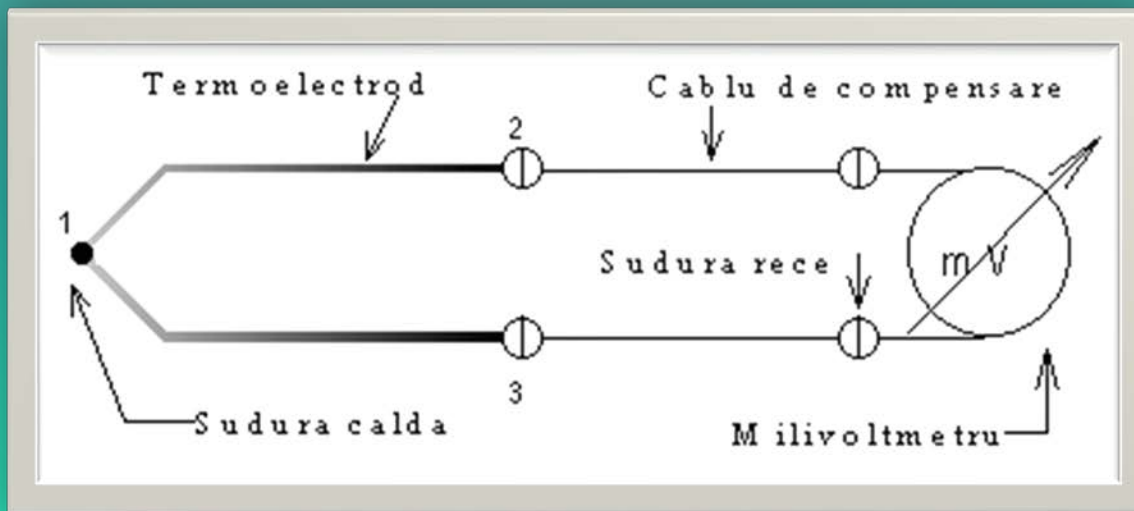


Aparat de măsurare a temperaturii in infraroșu

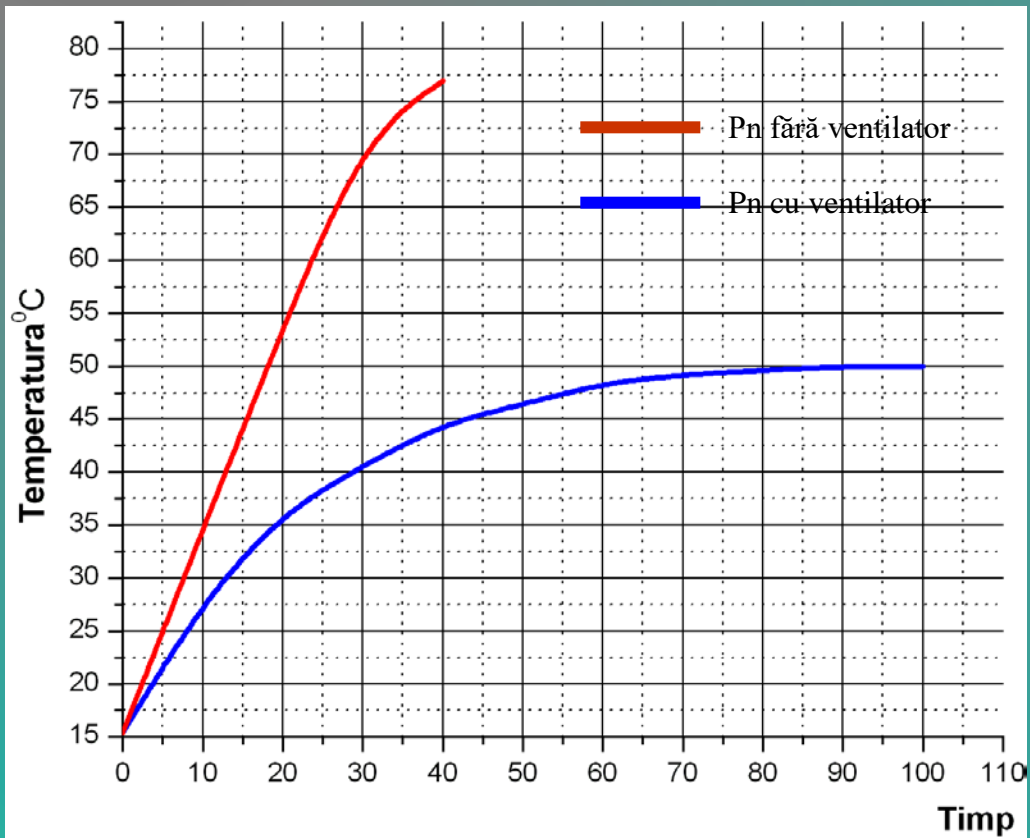
Termorezistență



Măsurarea temperaturii în interiorul unei mașini electrice

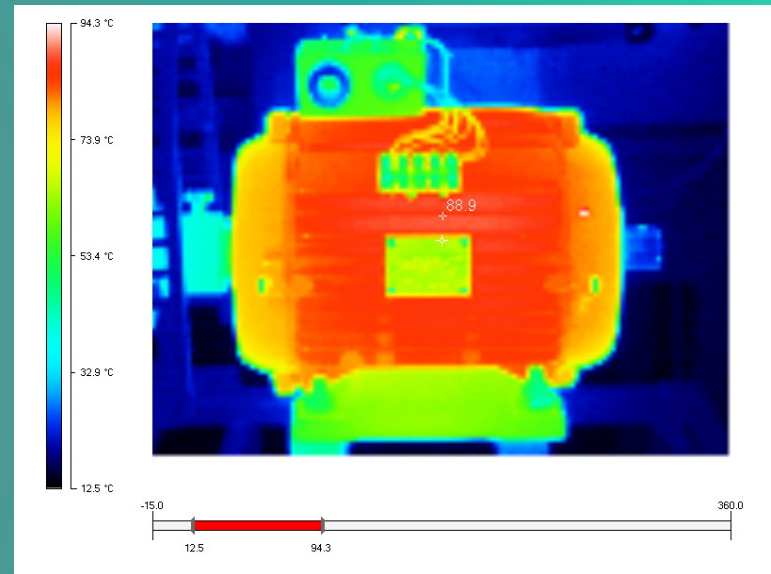


Termocuplu

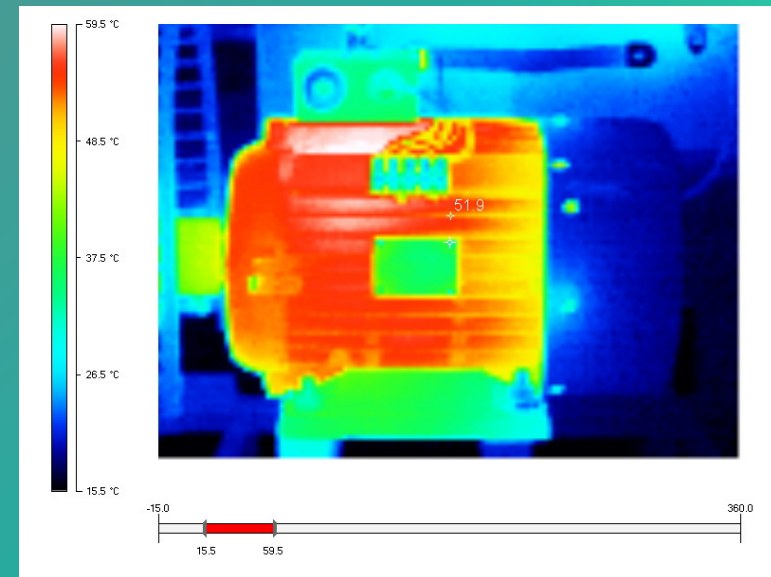


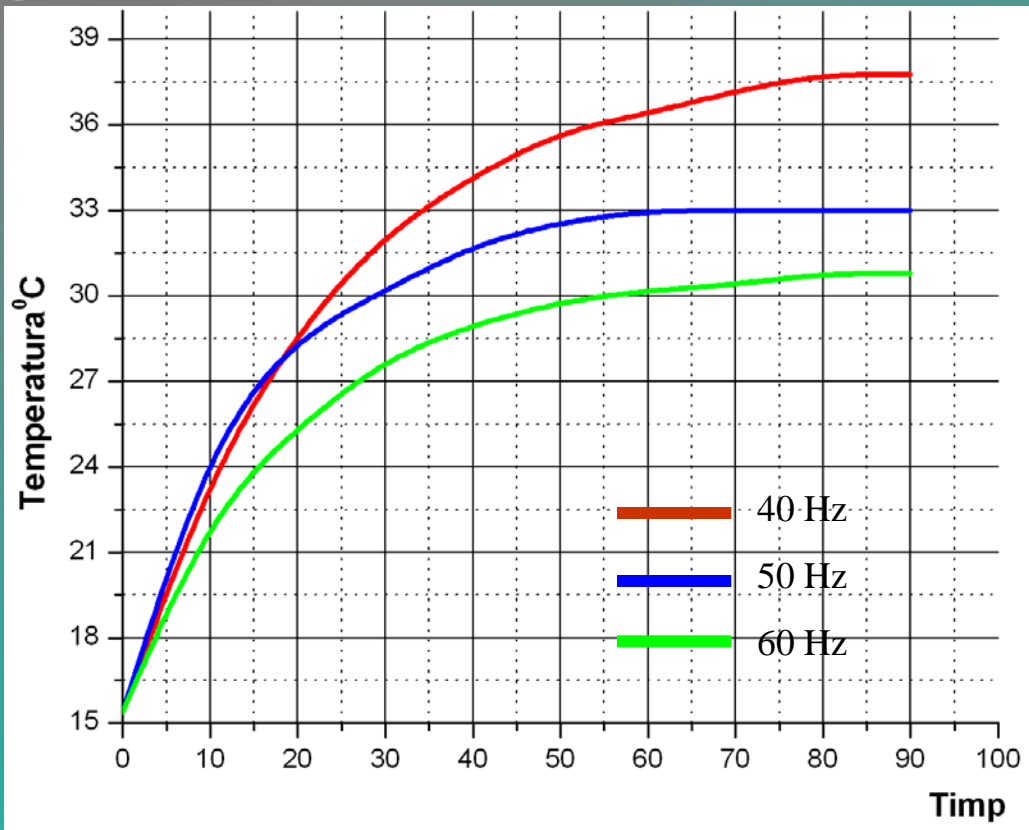
Încălzirea unei mașini asincrone: a) ventilator demontat; b) cu ventilator

a)

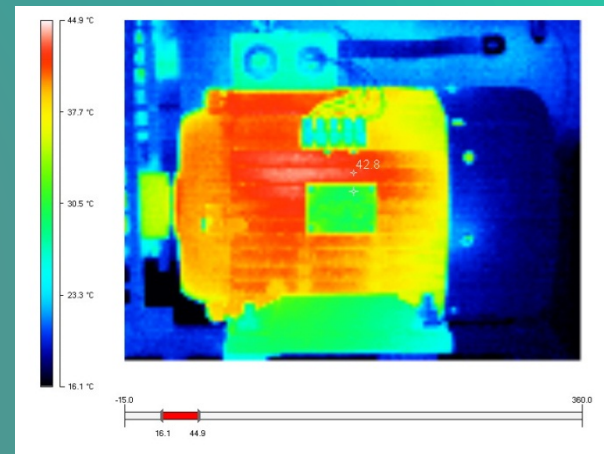


b)

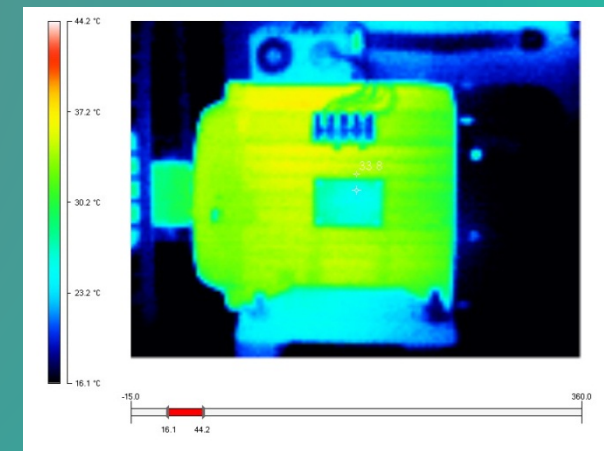




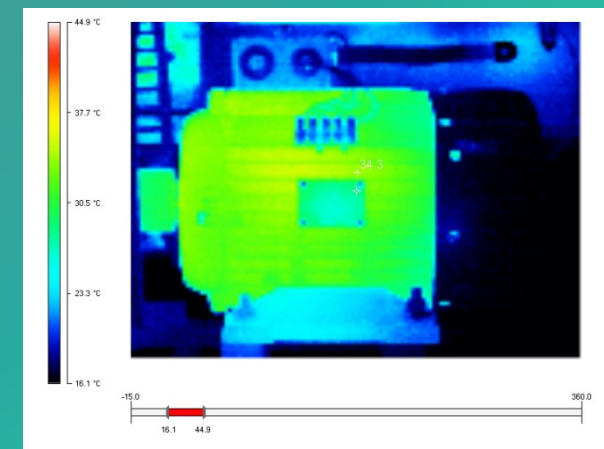
Încălzirea unei mașini asincrone pentru diverse frecvențe ale tensiunii de alimentare



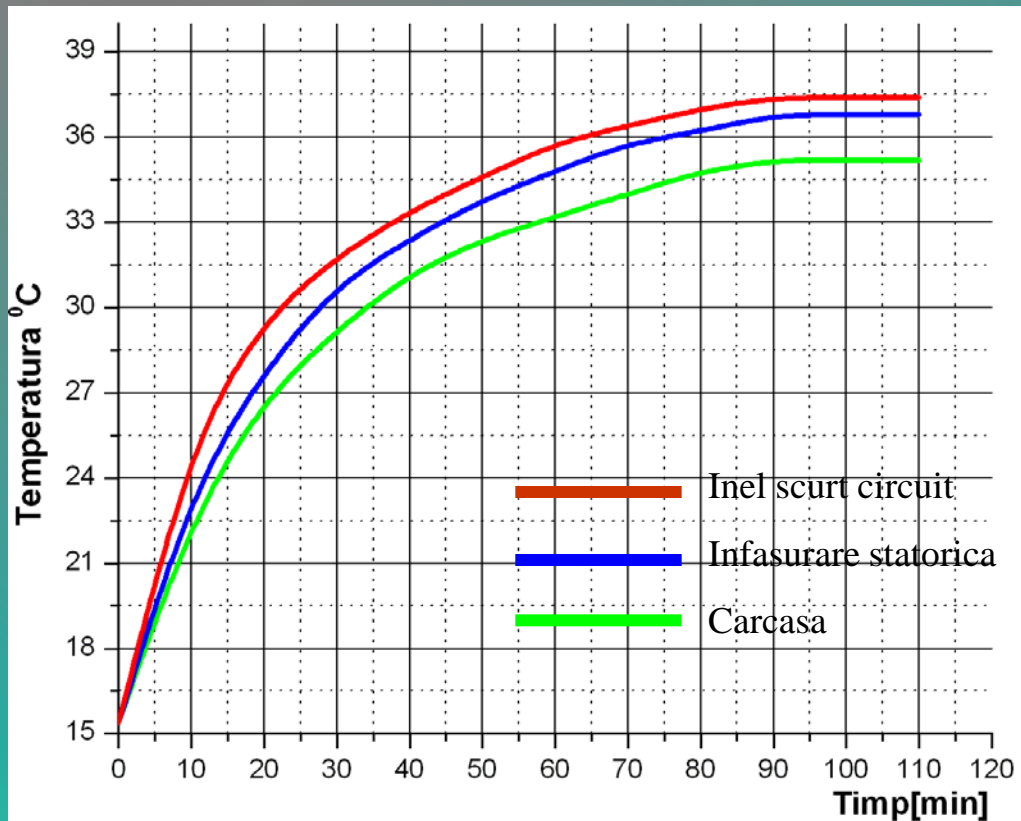
40Hz



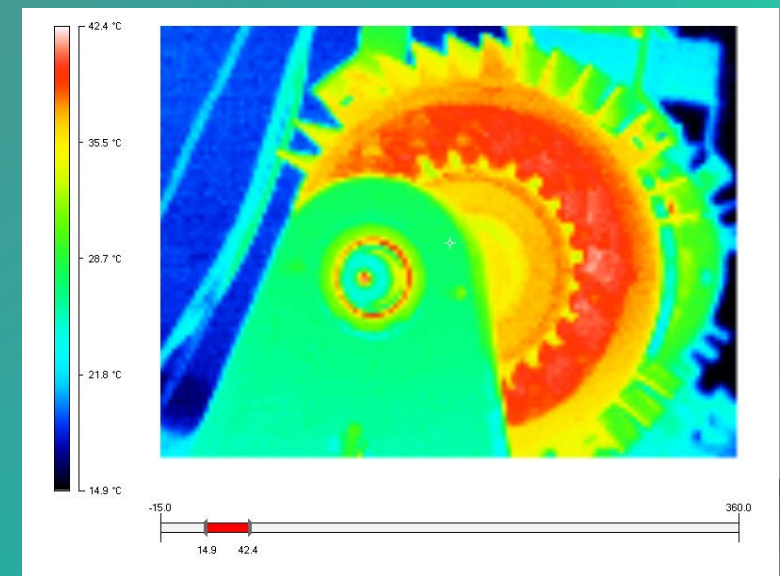
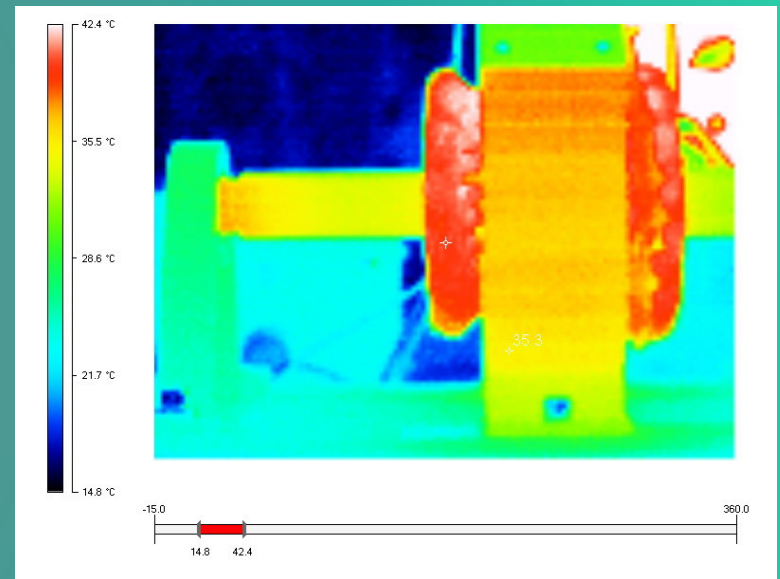
50Hz

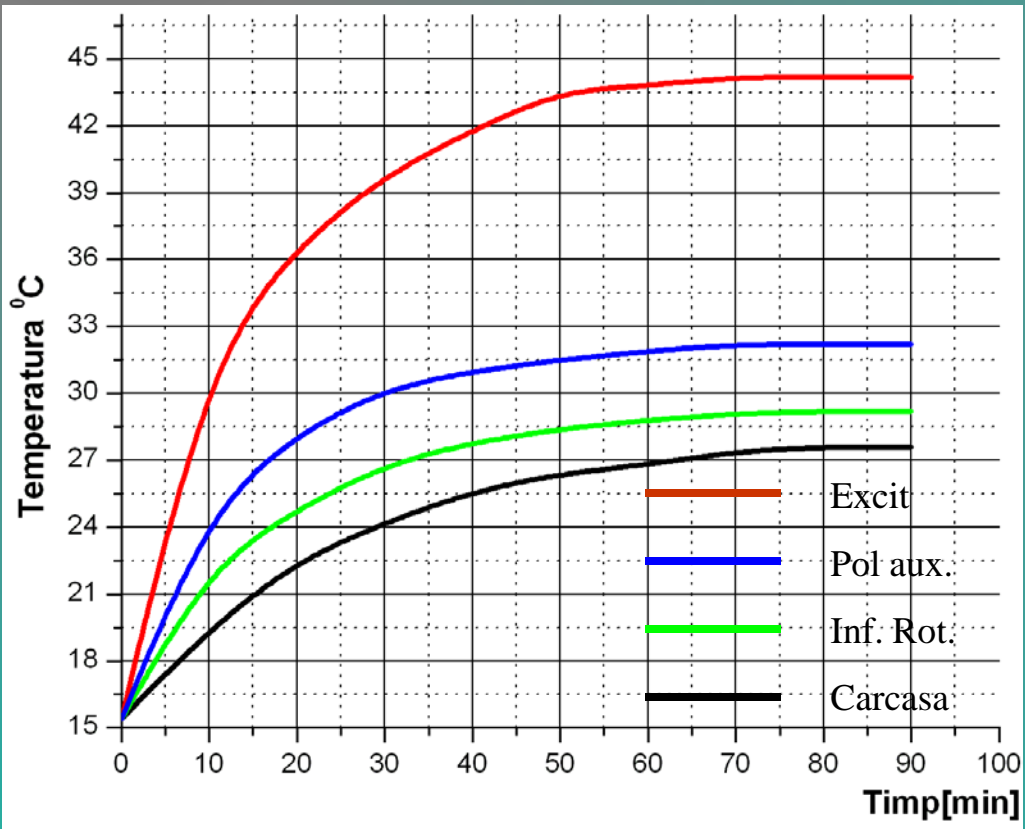


60Hz

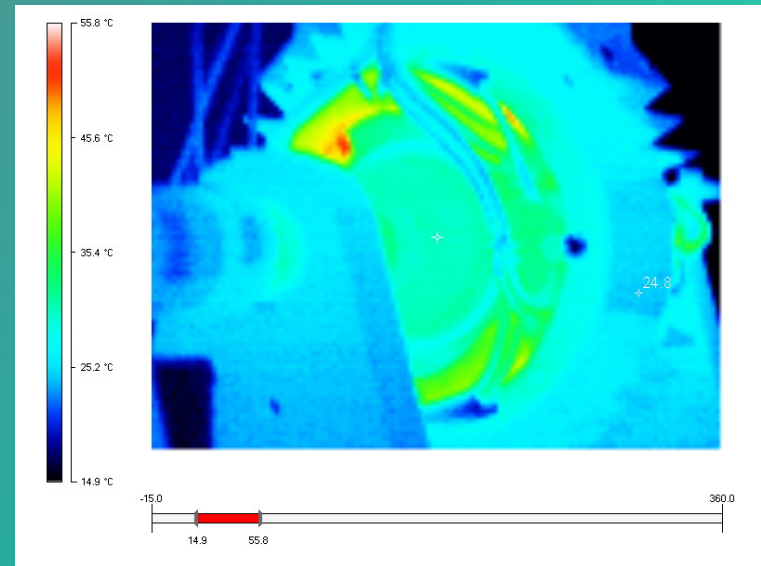
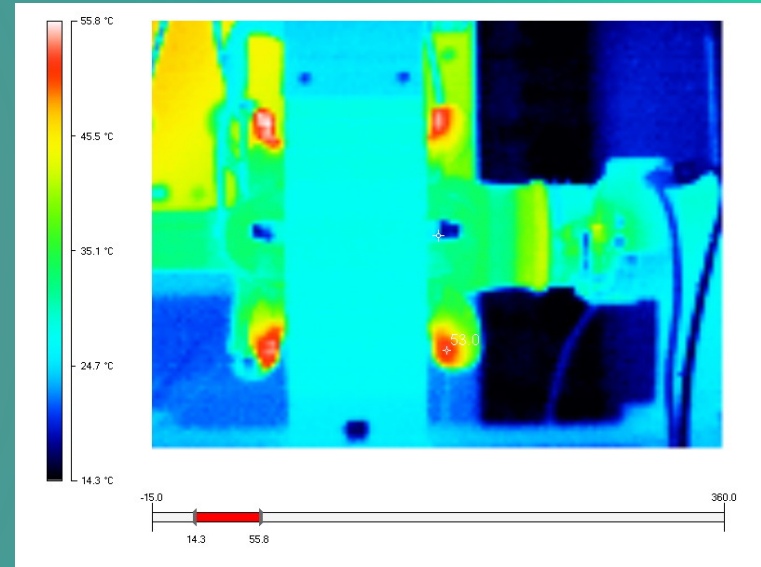


Încălzirea unei mașini asincrone deschise







Încălzirea unei mașini de c.c. deschise



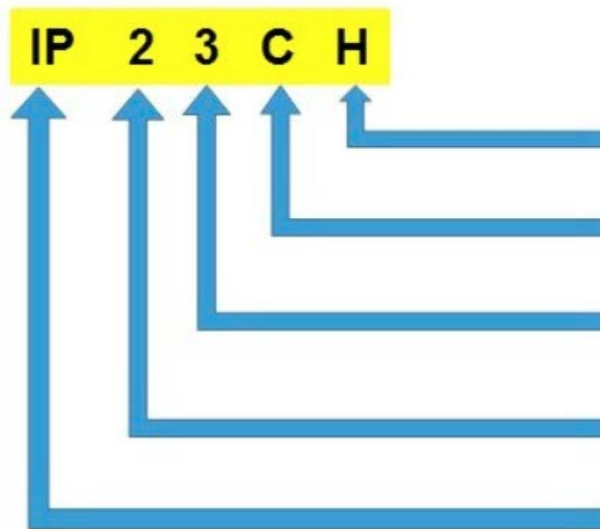
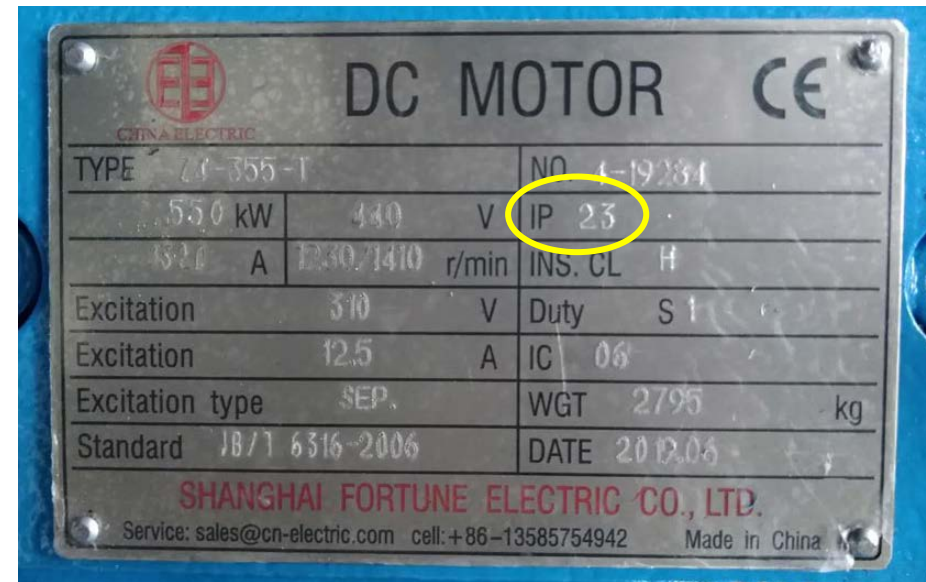


TIPURI DE PROTECȚIE



Protecția mașinilor electrice împotriva atingerii,
pătrunderii corpurilor străine și apei

Gradul de protecție, notat în general sub forma IP xx, clasifică și evaluează gradul de etanșeitate împotriva pătrunderii corpurilor străine, a prafului și a apei în interiorul unui dispozitiv sau carcase. Este publicat de IEC și constituie standardul 60529. Este echivalent standardului european EN 60529.



(opțional) Litera suplimentară: H, M, S, W

(opțional) Litera adițională: A, B, C, D

A doua cifră caracteristică
 Cifre de la 0 la 9 sau litera X

Prima cifră caracteristică
 Cifre de la 0 la 6 sau litera X

International Protection

X

SIMBOL

Nu există date disponibile pentru a specifica gradul de protecție.

0

SIMBOL

Indica o construcție a mașinii în care părțile rotative, sau sub tensiune, se pot atinge cu mâna. De asemenea, corpurile solide străine mici și mari pot pătrunde în interiorul mașinii. Ca urmare, astfel de mașini trebuie montate în încăperi practic lipsite de praf și în locuri încălzite. Aceste mașini sunt favorizate din punctul de vedere al ventilației. În consecință, la proiectare se pot alege solicitări electromagnetice cu 10-20% mai mari.

1

SIMBOL

Atingerea cu mâna a părților rotative sau sub tensiune se poate face numai în mod voit. Construcția mașinii permite existența unor orificii de până la 50 mm diametru prin care ar putea pătrunde corpuri străine solide. Acest grad de protecție se aplică la mașinile ce funcționează în încăperi curate și supravegheate.

2

SIMBOL

Părțile aflate în mișcare de rotație sau aflate sub tensiune nu pot fi atinse cu degetele iar corpurile solide străine care pot pătrunde în mașină nu pot avea dimensiuni mai mari de 12,5 mm în diametru. Mașinile au orificii mari dar peste care se aplică o plasă de sârmă prinsă cu șuruburi. Aceasta construcție permite o bună autoventilare astfel încât, la proiectare, solicitările electromagnetice au valorile normale.

3

SIMBOL

Construcția mașinii nu permite atingerea părților rotative, sau sub tensiune, cu unelte și nici pătrunderea corpurilor străine mai mari de 2,5 mm. Autoventilația se poate face în condiții acceptabile.

4

SIMBOL

Acest grad de protecție împiedică atingerea părților rotative, sau sub tensiune. De asemenea, nu pot pătrunde corpuri străine cu diametrul mai mare de 1 mm. Mașinile cu acest grad de protecție pot funcționa în medii cu praf moderat sau locuri descoperite. De la acest grad de protecție se poate vorbi despre mașini „închise” la care ventilația este profund afectată în sens negativ. Drept urmare, solicitările electromagnetice se iau mai mici cu 10-15%. Menținerea valorilor normale pentru solicitările electromagnetice se poate face dacă se adoptă metode de răcire forțată.

5

SIMBOL

Părțile aflate în mișcare de rotație, sau aflate sub tensiune, nu sunt deloc accesibile atingerii, în mod voluntar sau involuntar, nici cu mâna și nici cu scule. Pătrunderea prafului este parțial limitată de garnituri. Solicitățile termice se aleg ca în cazul simbolului 4.

6

SIMBOL

Construcția mașinii este complet etanșă astfel încât nu poate pătrunde praf nici măcar din curenți forțați. Sunt construcții speciale utilizate pentru aplicații speciale.

A doua cifra

SIMBOL X

Nu există date disponibile pentru a specifica gradul de protecție.

SIMBOL 0

Nu există nici un fel de protecție contra pătrunderii apei. Aceste mașini trebuie montate în încăperi închise. De asemenea, vaporii de apă nu trebuie să condenseze (în special pe plafon) și să pătrundă sub forma de picături.

SIMBOL 1

Mașina are o protecție ușoară (sub forma de „acoperiș”) astfel încât picăturile de apă ce ar cădea vertical să nu poată pătrunde în mașină. Încălzirea, ventilația și alegerea solicitărilor electromagnetice nu sunt afectate.

A doua cifra

SIMBOL 2

Se iau măsuri de protecție astfel încât picăturile de apă ce cad sub un unghi de maxim 15° față de verticală să nu poată pătrunde în mașină.

SIMBOL 3

Acest grad de protecție nu permite pătrunderea apei sub formă de stropi care cad pe o direcție înclinată până la 60° față de verticală. Mașinile sunt destul de bine ventilate astfel încât solicitările electromagnetice se mențin la valorile normale.

SIMBOL 4

Construcția împiedică pătrunderea stropilor de apă din orice direcție ar veni. Este o mașină de tip „închis” ce se poate monta chiar și în locuri expuse precipitațiilor atmosferice.

A doua cifra

SIMBOL 5

Asigură protecția contra pătrunderii apei ce provine din jeturi sub presiune..

SIMBOL 6

Această construcție asigură un grad de protecție împotriva apei provenită din valuri sau jeturi de apă. Mașinile sunt destinate să funcționeze pe puntea vaselor.

SIMBOL 6K

Este o construcție particulară, asemănătoare celei de la simbolul 6, la care presiunea și volumul jetului de apă sunt mult mai mari.

A doua cifra

SIMBOL 7

Asigură protecția contra pătrunderii apei atunci când mașina este cufundată în apă un anumit timp (30 minute și adâncime de până la 1m).

SIMBOL 8

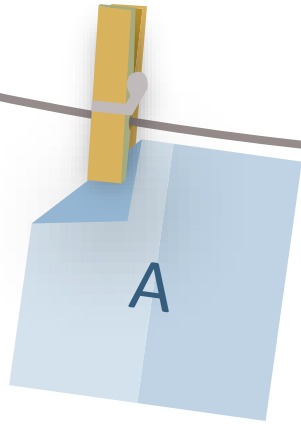
Similar simbolului 7 (adâncime de până la 3 m și timp de scufundare fixat în acord cu producătorul).

SIMBOL 9K

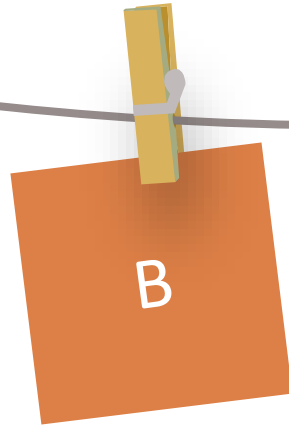
Este o construcție particulară ce protejează mașina împotriva jeturilor de apă cu presiune mare și temperatură înaltă (până la 80° C). Sunt mașini cu totul speciale și pentru aplicații particulare.

Prima litera adițională (opțională)

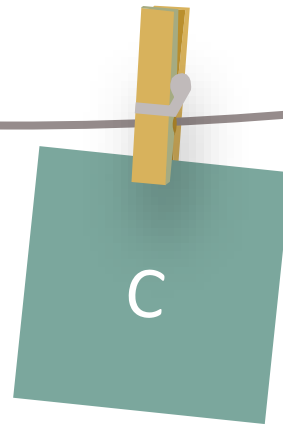
(protecția personalului împotriva atingerii întâmplătoare cu mâna)



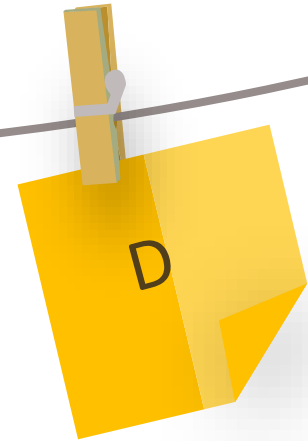
Dosul mâinii



Deget



Unealtă



Sârmă

A doua litera suplimentară (opțională)

(protecția mașinii corespunzător anumitor condiții)

H

Înaltă tensiune

M

Mișcare pe
parcursul
testului cu apa

S

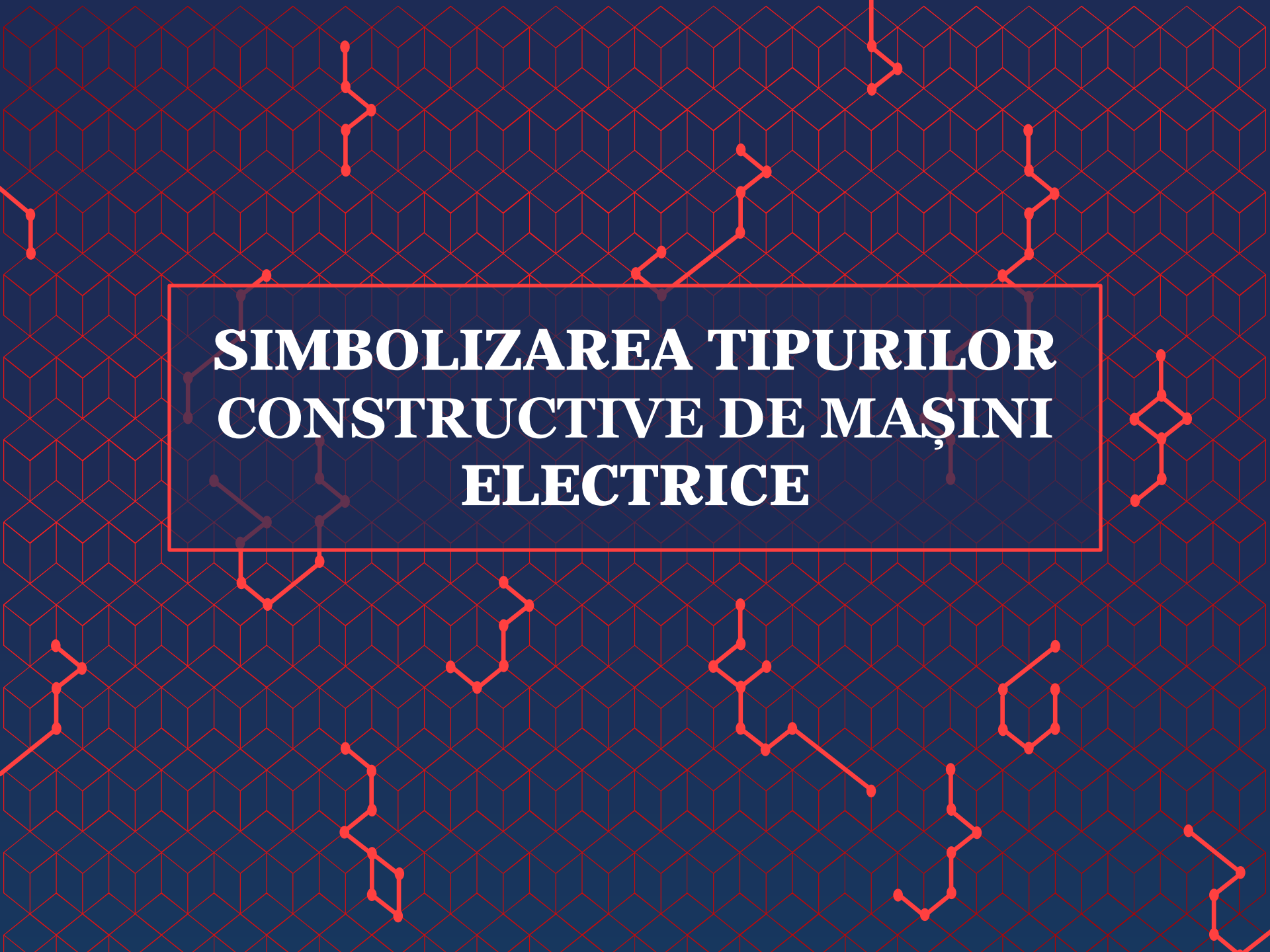
Staționară pe
parcursul testului
cu apa

W

Condiții
atmosferice
speciale

Cele mai folosite grade de protecție în construcția mașinilor electrice





SIMBOLIZAREA TIPURILOR CONSTRUCTIVE DE MAȘINI ELECTRICE

Corespondența dintre simbolurile codurilor II și I

Cod II	Cod I
IM 1001	IM B 3
IM 1011	IM V 5
IM 1031	IM V 6
IM 1051	IM B 6
IM 1061	IM B 7
IM 1071	IM B 8
IM 1101	IM B 20
IM 1201	IM B 15
IM 2001	IM B 35
IM 2011	IM V 15
IM 2031	IM V 36
IM 2101	IM B 34
IM 3001	IM B 5
IM 3011	IM V 1
IM 3015	IM V 21
IM 3031	IM V 3
IM 3211	IM V 4
IM 3231	IM V 2
IM 3601	IM B 14
IM 3611	IM V 18
IM 3631	IM V 19
IM 4001	IM B 10
IM 4011	IM V 10
IM 4031	IM V 14
IM 4131	IM V 16
IM 9101	IM B 9
IM 9111	IM V 8
IM 9131	IM V 9
IM 9201	IM B 30
IM 9211	IM V 30
IM 9231	IM V 31

Tipul de montaj și implicit forma constructivă a mașinilor electrice rotative este reglementată de standardul internațional **IEC-60034-7**.

Simbolizarea poate fi făcută folosindu-se CODUL I, destinat mașinilor rotative de uz general, sau folosindu-se CODUL II, care include și mașini rotative cu utilizare specială.

Evident, între cele două coduri există analogie, conform tabelului alăturat.

Semnificația simbolurilor, corespunzător codului I, este următoarea:

- litera B – mașina se montează în poziție *orizontală*;
- litera V - mașina se montează în poziție *verticală*;
- Numărul (format din una sau două cifre) de după litera B sau V indică varianta constructivă: mașină cu unul sau două scuturi portlagăr, mașină cu tălpi de susținere normale sau înălțate, mașină cu flanșă sau fără flanșă, etc.

Codul I este un cod simplificat întrucât se referă numai la mașini prevăzute cu scuturi portlagăr.

Semnificația simbolurilor, corespunzător codului II, este următoarea:

- prima cifră – indică forma constructivă a mașinii;
- a doua cifră – caracterizează varianta constructivă;
- a treia cifră – caracterizează poziția de montaj sau alte criterii suplimentare;
- a patra cifră – caracterizează tipul capătului de arbore.

Prima cifra

- 1 – mașini cu tălpi și scut portlagăr;
- 2 – mașini cu tălpi și flanșă, cu scuturi portlagăr;
- 3 – mașini fără tălpi, cu flanșă pe un scut portlagăr;
- 4 – mașini fără tălpi, cu scuturi portlagăr și flanșă pe carcasa;
- 5 – mașini fără lagăre înglobate;
- 6 – mașini cu scuturi portlagăr și suporturi de lagăre;
- 7 – mașini cu suporturi de lagăre, fără scuturi portlagăr;
- 8 – mașini verticale, în afara celor cu prima cifră 1...4;
- 9 – mașini cu mod de montaj special.

A patra cifra

- 0 – mașini fără capăt de arbore;
- 1 – mașini cu un capăt de arbore cilindric;
- 2 – mașini cu două capete de arbore cilindrice;
- 3 – mașini cu un capăt de arbore conic;
- 4 – mașini cu două capete de arbore conice;
- 5 – mașini cu un capăt de arbore flanșat;
- 6 – mașini cu două capete de arbore flanșat;
- 7 – mașini cu un capăt de arbore flanșat și celălalt cilindric;
- 8,9 – mașini cu orice alte tipuri de capete de arbori.

1st digit

IM1...
Foot mounted

IM2...
Foot & Flange mounted

IM3...
Flange mounted

2nd digit

3rd digit

4th digit

- 1: Standard IEC shaft
- 2: 2nd shaft end
- 3: Conical shaft at DE
- 4: Special shaft end(s)

Vertical motors with shaft down are to be specified as

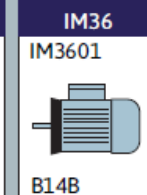
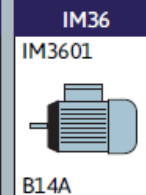
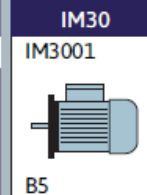
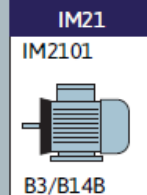
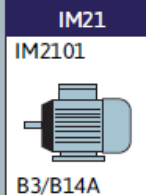
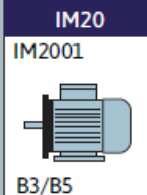
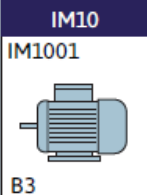
Motor without Canopy



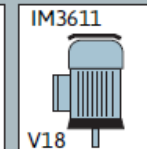
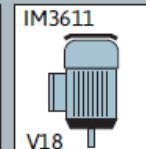
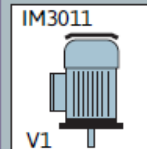
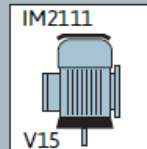
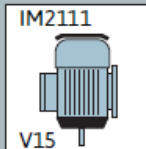
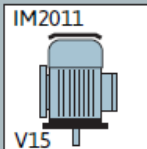
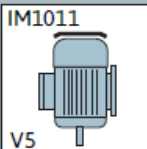
Motor with Canopy



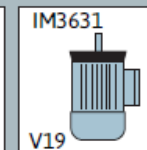
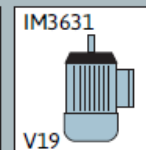
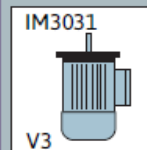
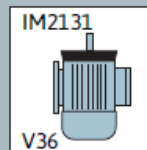
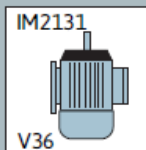
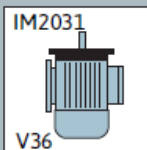
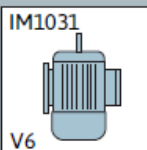
0



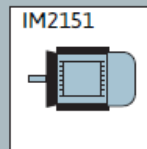
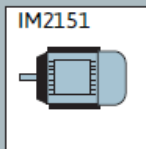
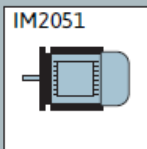
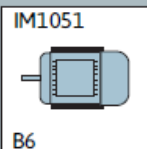
1



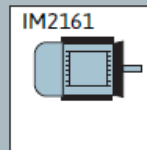
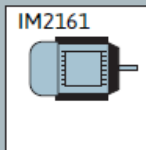
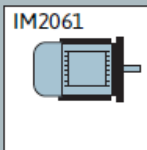
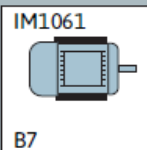
3



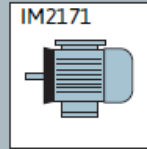
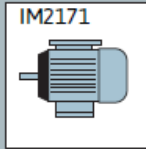
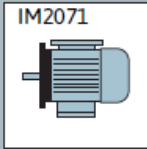
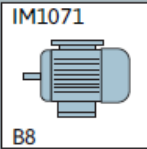
5



6



7

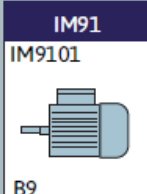
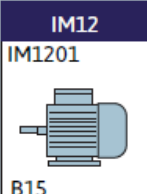


The specified mounting is to be mentioned when ordering an electric motor. The actual motor mounting may influence the protection class and bearing design. Flange mounted electric motors need further specification of the required pitch circle diameter of the fixing holes in the flange (FF or FT type of flange + Dimension M).
FF (Flange Free holes) - B5 flanges,
FT (Flange Tapped holes) - B14A & B14B flanges
The pitch circle diameter (M) is specified in the Standard

Abbreviated mounting positions:

IM B35 B3/B5
IM B34A B3/B14A
IM B34B B3/B14B

Without endshield



Exemplificare
si
corespondenta
intre coduri

ABB

Motor	Sep.	06-1995	IEC 34-1-1969
Type	DMP 112-4L	No.	1124 01659
	12.5 kW	1500	r/min
Duty	S1	Ins. Class	F
Arm.	495 V	Arm.	29.9 A
Exc.	300 V	Exc.	2.18 A
IP	23S IC 06	IM	1001
Cat. No.	FR 159 101-1A		123.5 kg
MADE IN FRANCE		FABRIQUE EN FRANCE	

PREMIUM EFFICIENCY 3-PHASE SEVERE DUTY MOTOR

TYPE	AE JH-52	FRAME	500CB		
POLES	8	OUTPUT	1000 HP KW		
VOLTS	2300/4160	Hz	60	RATING	CONT.
AMPS	229/127	S. F.	1.15	INS.	B
NOM. EFF.	96.0%	MIN. EFF.	95.2%		
RPM	690	DESIGN	B	AMB.	40 °C
DATE	2007	BEARING	RANK 9S-100/ES-100		
IP	54	SER. NO.	D077015-1		
WEIGHT	12100	KGS			

TECO Westinghouse
MOTOR COMPANY
ROUND ROCK, TEXAS

MADE IN TAIWAN 3A045H3720007

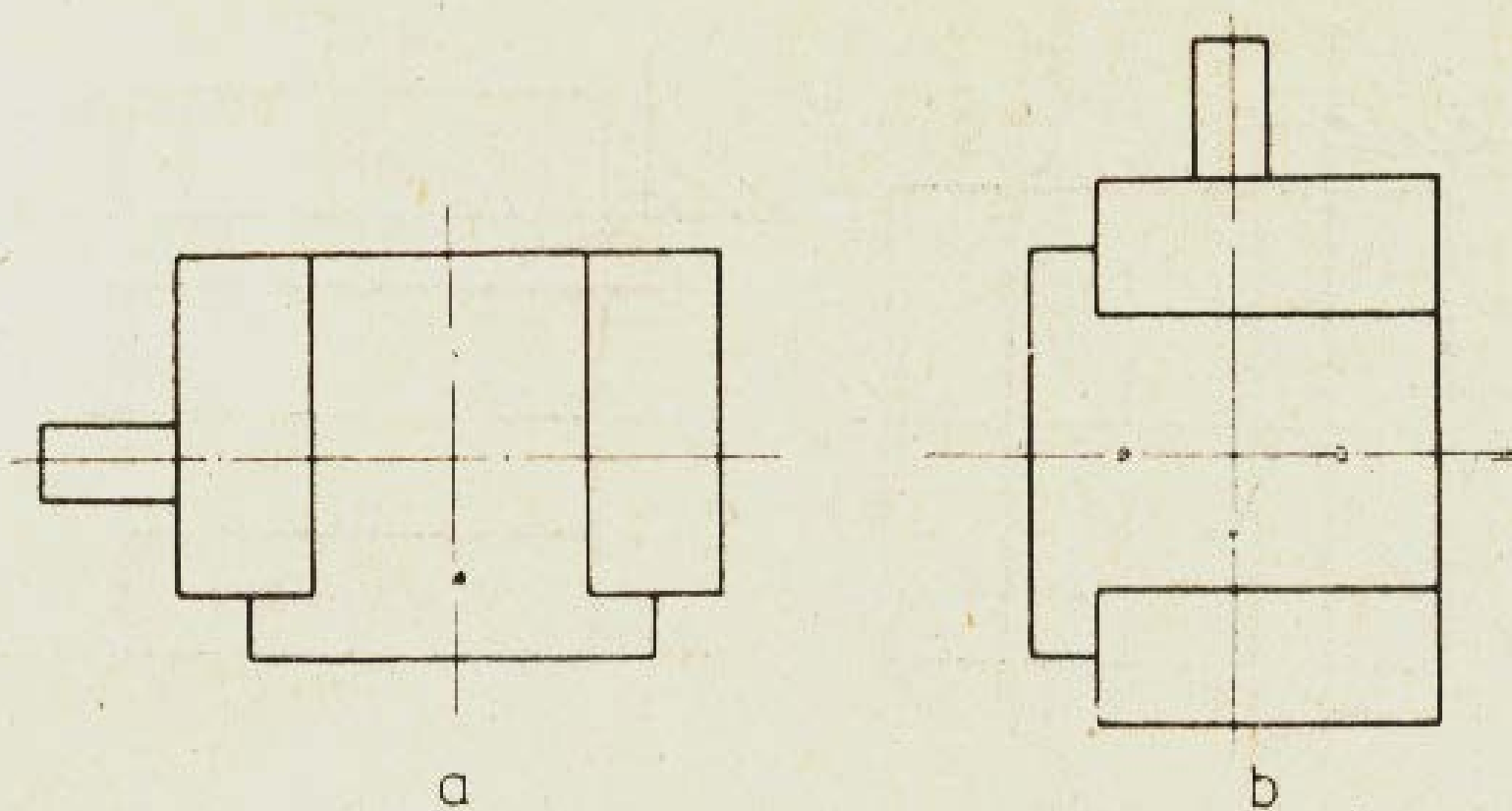


Fig. 1.1. Mașini cu tălpi și două scuturi portlagăr :
a — *IM 1001*; b — *IM 1031*.

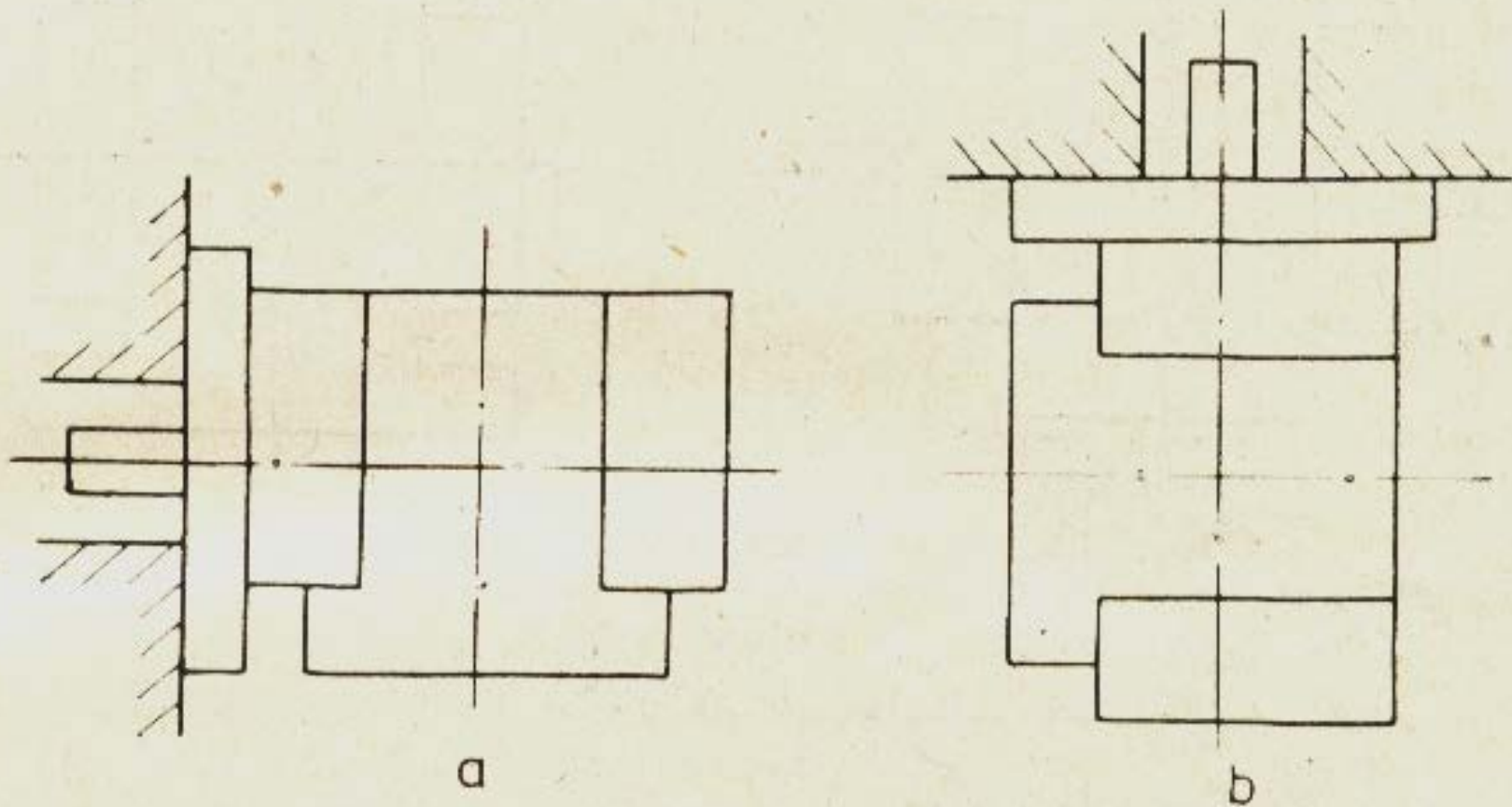


Fig. 1.2. Maşini cu tălpi și flanșă, cu un scut portlagăr :
a — IM 2001 ; b — IM 2031.

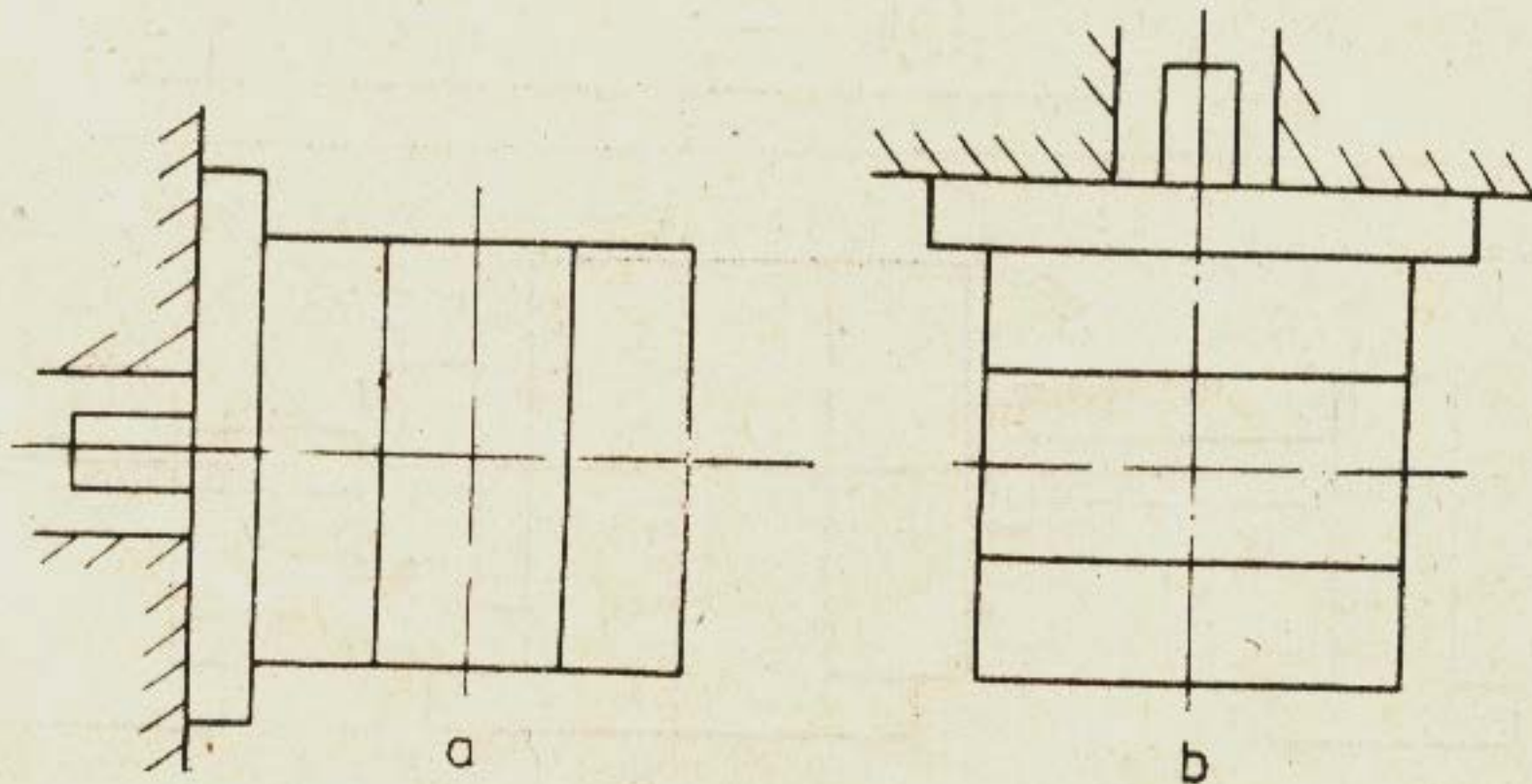


Fig. 1.3. Mașini fără tălpi, cu flanșă pe un scut portlagăr :
a — [#]IM 3001; b — IM 3031.

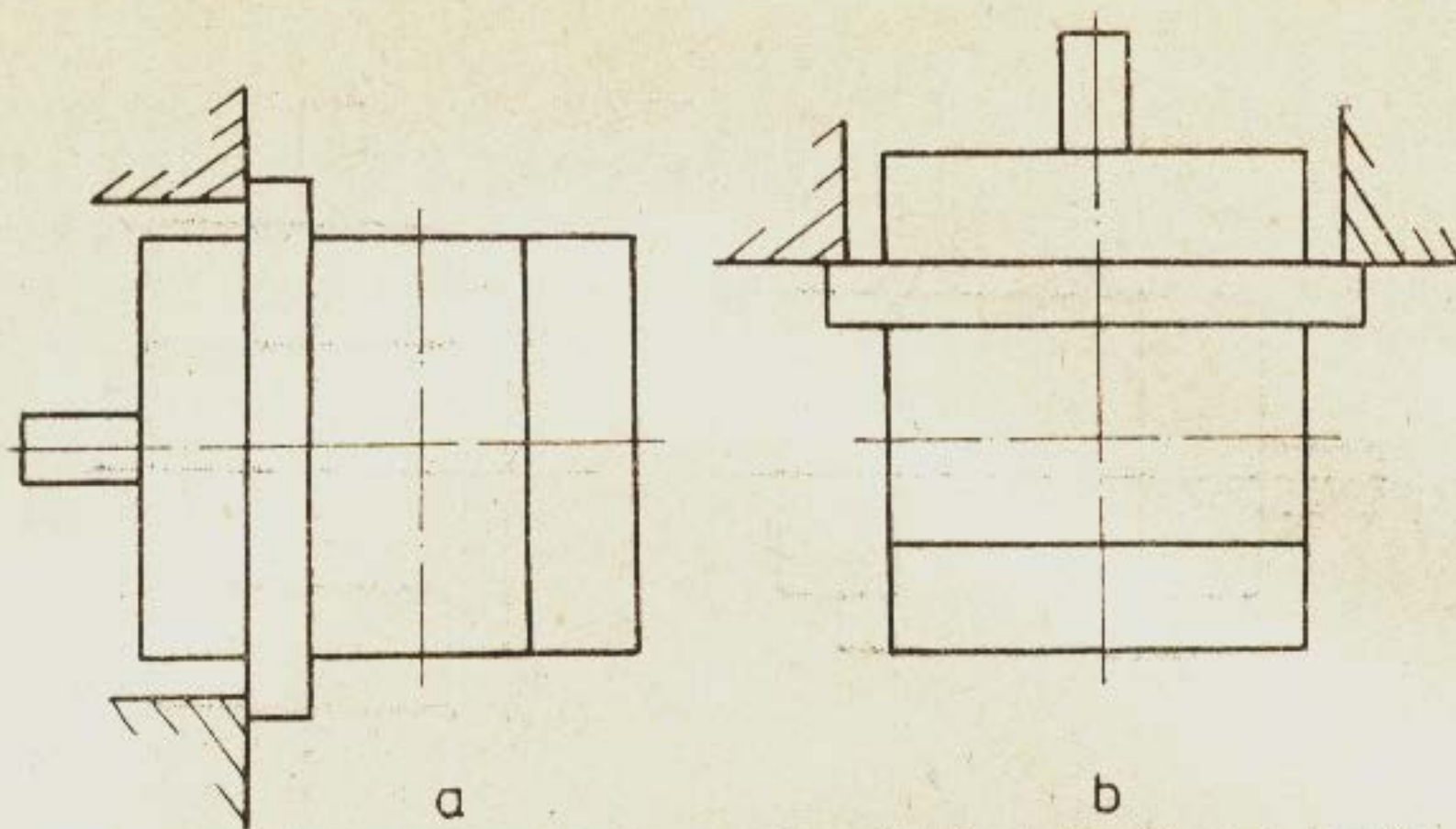


Fig. 1.4. Mașini fără tălpi, cu scuturi portlagăr și flanșă pe carcasă :
a — IM 4001; b — IM 4031.

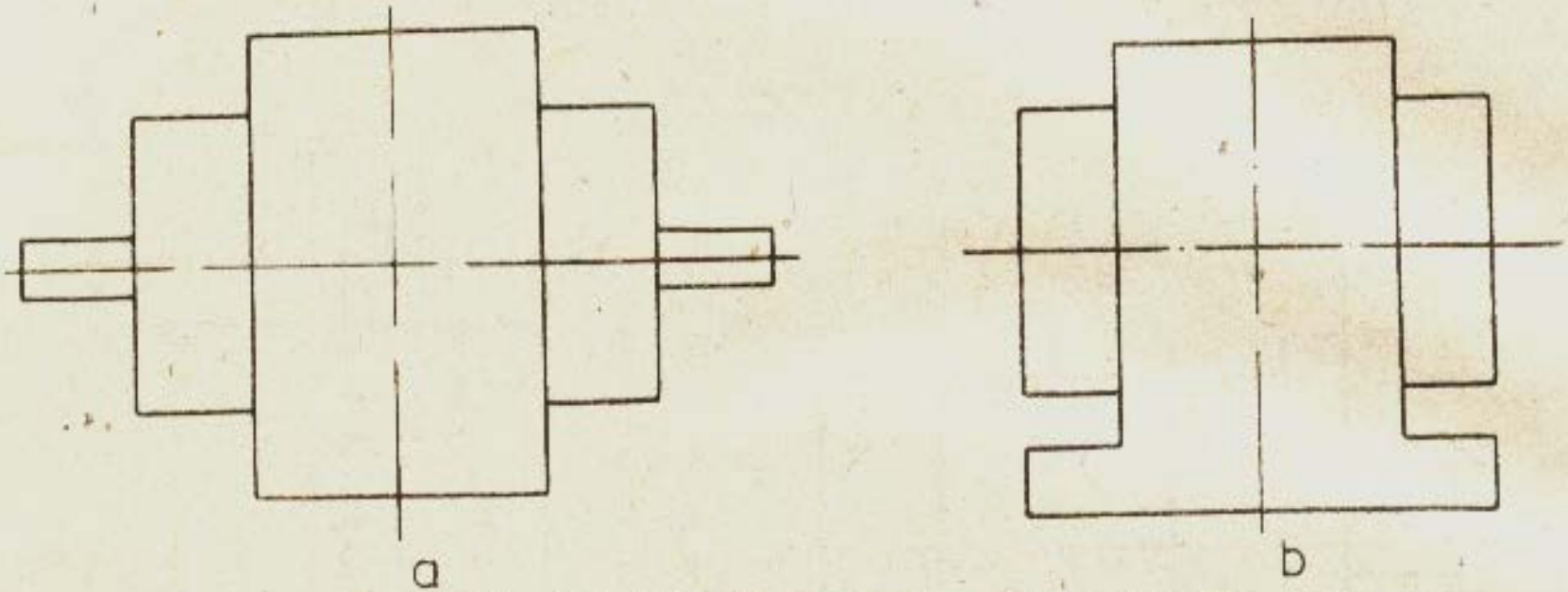


Fig. 1.5. Mașini fără lagăre (înglobate):

a — *IM 5002* (cu rotor și arbore cilindric, fără carcasă) ; b — *IM 5410* (cu rotor fără arbore, cu o carcasă cu tălpi).

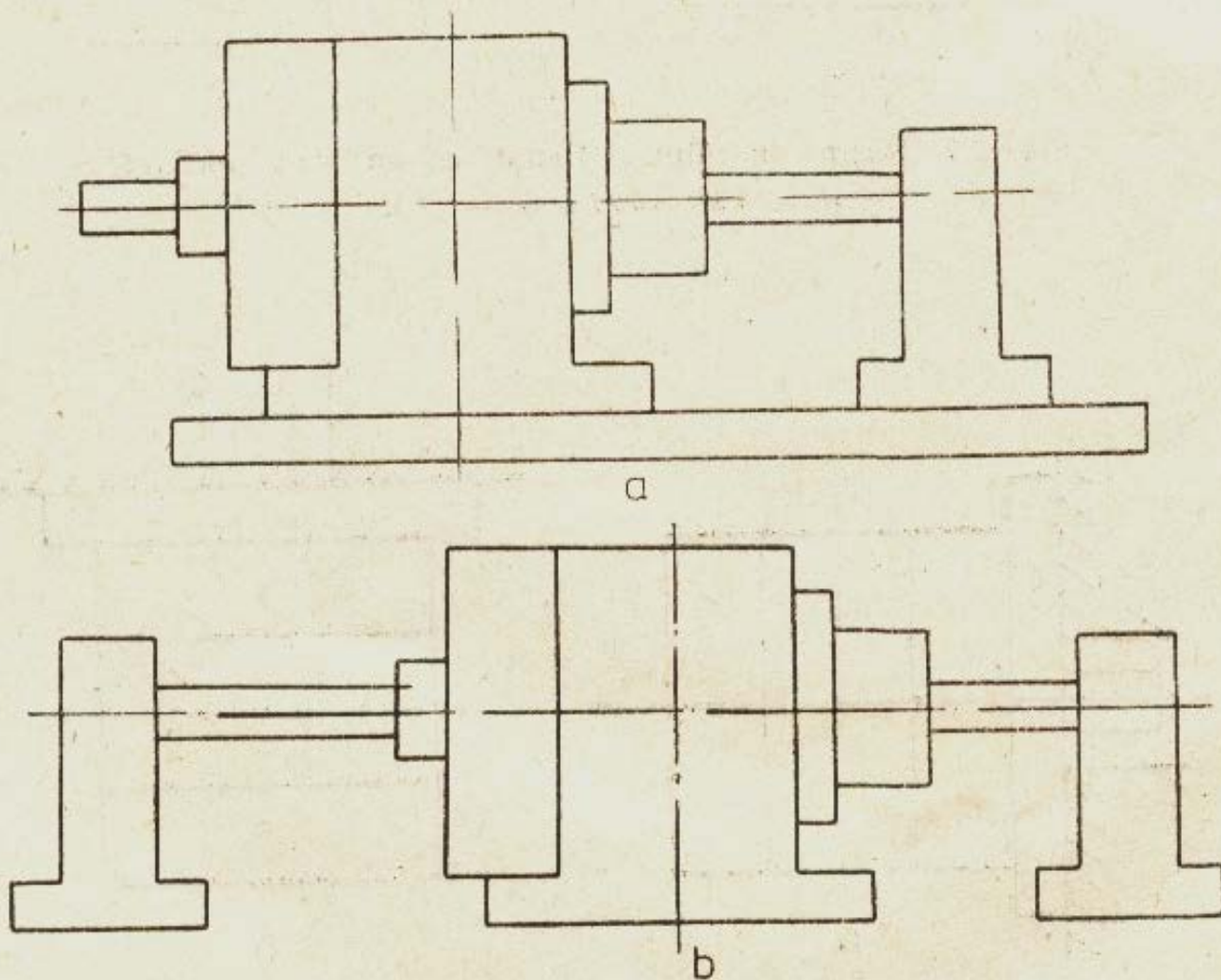


Fig. 1.6. Mașini cu scuturi portlagăr și suportur de lagăre :
 a — IM 6211 (cu carcasă cu tălpi, cu un scut portlagăr în partea D și cu un suport de lagăr în partea N — opusă lui D, cu placă de bază) ; b — IM 6600 (cu carcasă cu tălpi, cu un scut portlagăr în partea D și cu două suporturi de lagăre, fără placă de bază).

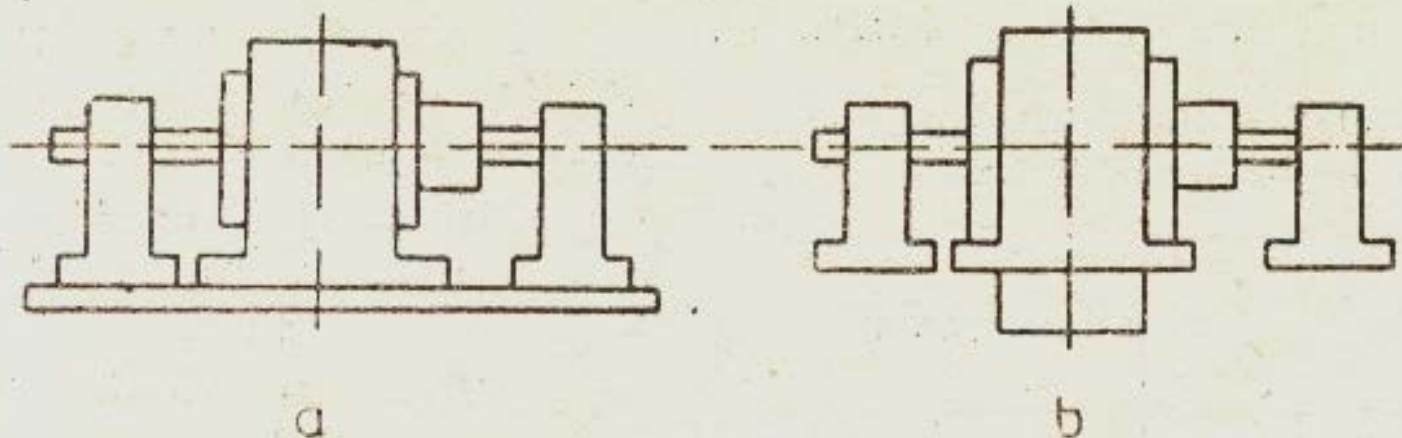


Fig. 1.7. Mașini cu suporturi de lagăre, fără scuturi portlagăr :

a — IM 7211 (cu două suporturi lagăre, cu tălpi și fixare cu soclu comun) ;

b — IM 7321 (cu două suporturi lagăre, cu tălpi înălțate și fixare cu placă de bază).

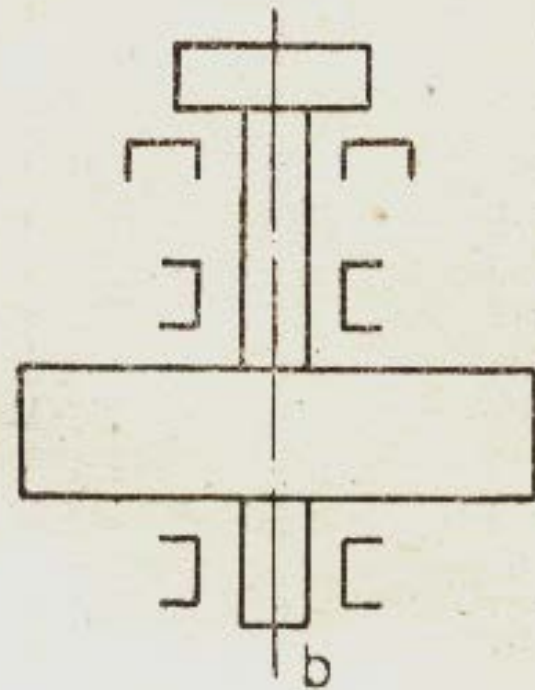
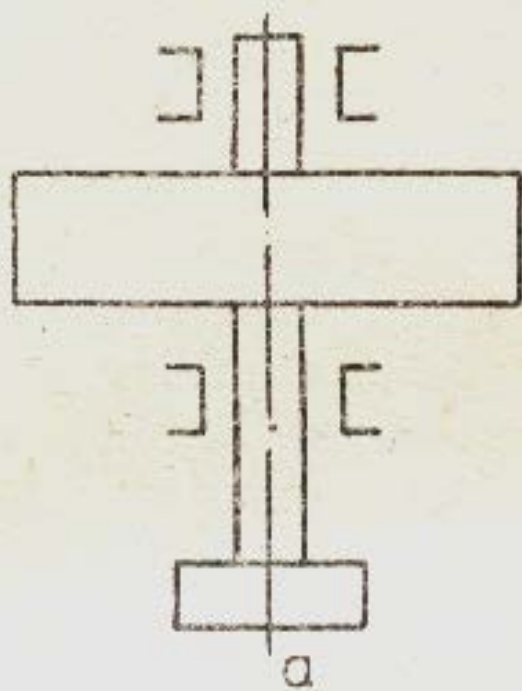
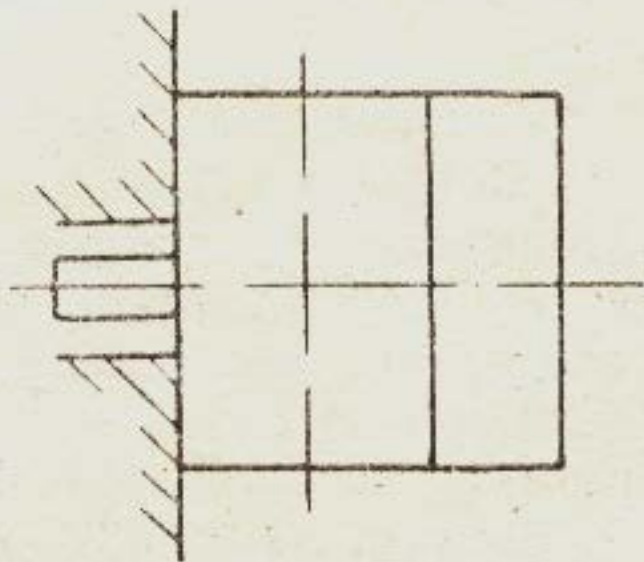
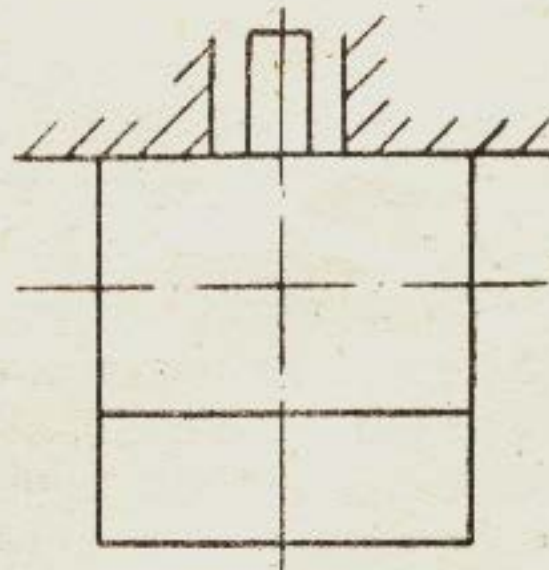


Fig. 1.8. Mașini verticale, în afara celor cu prima cifră 1...4 :

- a — IM 8021 (fără lagăr crapodină — lagăr special de susținere pe verticală, cu arbore și lagăre de ghidare sub și deasupra rotorului) ;
- b — IM 8421 (cu lagăr crapodină deasupra rotorului, cu arbore fără volant și lagăre de ghidare sub și deasupra rotorului).



a



b

Fig. 1.9. Mașini cu mod de montaj special:

a — IM 9101 (orizontală cu un scut portlagăr, cu fixarea statorului pe partea D, prin găuri filetate); b — IM 9131 (idem ca în cazul a, însă verticală).

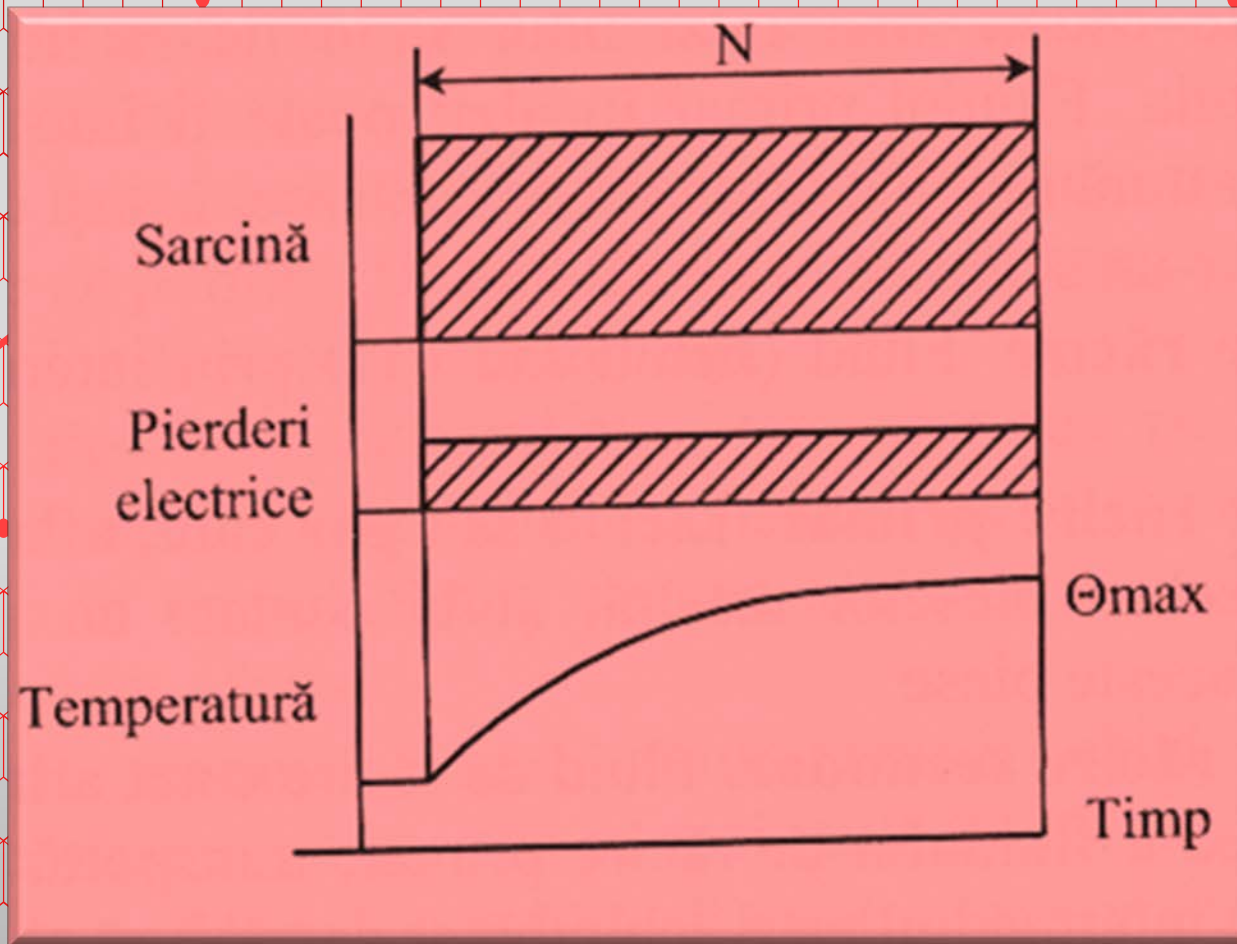
The background features a light gray grid with red lines forming a pattern of interconnected nodes and paths, resembling a circuit board or a network diagram. A central purple rectangle with a red border contains the text.

SERVICII DE FUNCȚIONARE A MAȘINILOR ELECTRICE

Serviciul de funcționare a unei mașini electrice pune în evidență durata și regimurile de funcționare pe care mașina le poate suporta, din punct de vedere termic, fără deteriorarea acesteia.

Indicarea serviciului de funcționare se face în mod obligatoriu pe plăcuța indicatoare a mașinii. Dacă această informație lipsește, se poate considera că mașina funcționează în serviciul S1.

Serviciul S1 – serviciu continuu



Funcționarea la sarcină constantă de durată suficientă pentru atingerea echilibrului termic

Serviciul S1 – serviciu continuu

ELECTRIC COMPANY ENERGY EFFICIENT
XT - EXTRA TOUGH

DUTY MASTER AC MOTOR

I.S. DIMAF93353 SW MODEL FRAME SIZE 025E1

HP 10	VOLTS 380	PHASE 3	DESIGN B	MFC P
RPM 975	AMPS 15.4	HZ 50	AMP 04D	SF 1 15
DRIVE AND BEARING 4SEC03130	DUTY CONT		CCDR E	
OPP DE BEARING 4SEC03130	ENCL SRC		CODE H	
OVER TEMP PROT 7	MCVA NOV EFFICIENCY 90.3			

9001-A

MOTO. 521 LBS
RRC:

MFD. BY RELIANCE ELECTRIC INDUSTRIAL CO. MADE IN USA

LEESON INVERTER DUTY

INSULATION SYSTEM

DATE: J17B CC:

CAT. NO: 1110078.00
MODEL: C6T17FK140A
CUST. PN:

DUTY: CONT
AMB: 40 °C
FR: 56C
COOLING: 41
CODE:

INS: F4
PH: 3
CODE: K
PROT. CODE:

TYPE: TF
ENCL: TEFC
DESIGN: INV
IP: 43

HZ: 60
HP/KW: 2/1.49
RPM: 1725
VOLT: 230
FLA: 5.8
SFA:

SF: 1.0 EFF: 83.6 FL PF: 76.9(0.769)

HZ	HP	RPM	TORQ.	VOLTS	AMPS
30	1	870	6.03	230	2.9
60	2	1740	6.03	230	5.8
120	2	3480	3.015	230	2.8

R1 1.0 R2 0.8 X1 1.26 X2 1.04 XM 31.0

FOR PWM VFD USE ONLY

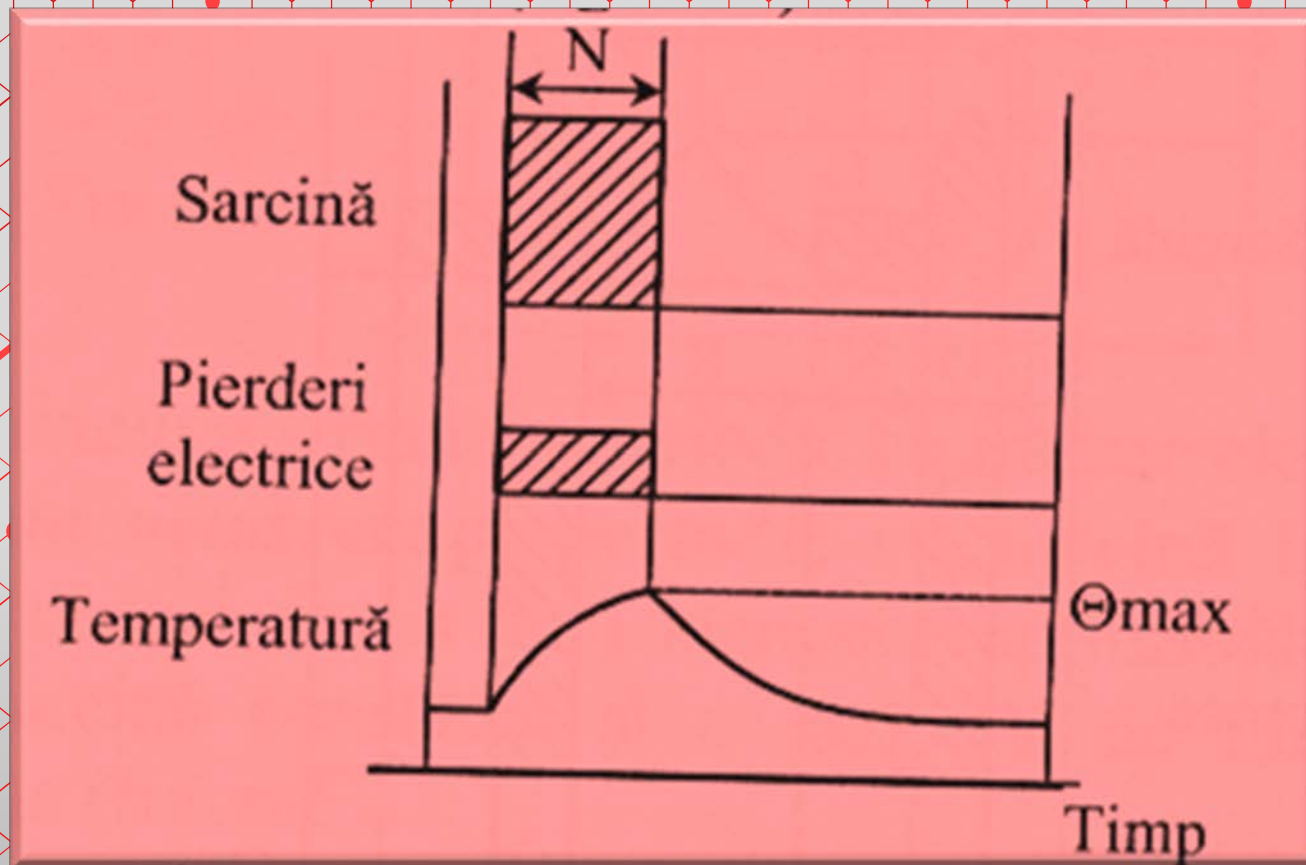
NP, BF2522825-1, 17272018

READ WARNING LABEL ON MOTOR BEFORE CONNECTING, INSTALLING OR SERVICING. FAILURE TO FOLLOW ALL SAFETY INFORMATION CAN RESULT IN PERSONAL INJURY OR DEATH.

CONNECT LEADS T1, T2, T3 TO LINE. TO REVERSE ROTATION, INTERCHANGE ANY 2 LINE LEADS

LEESON ELECTRIC A RELIANCE ELECTRIC COMPANY
GRANTON, WISCONSIN MADE IN U.S.A.

Serviciul S2 – serviciu temporar



Funcționarea la 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 S2 – serviciu temporar



ELMO SRL

Viale Certosa N°8/B - Pavia - ITALY

SUBMERSIBLE HYDRAULIC PUMP MOTOR

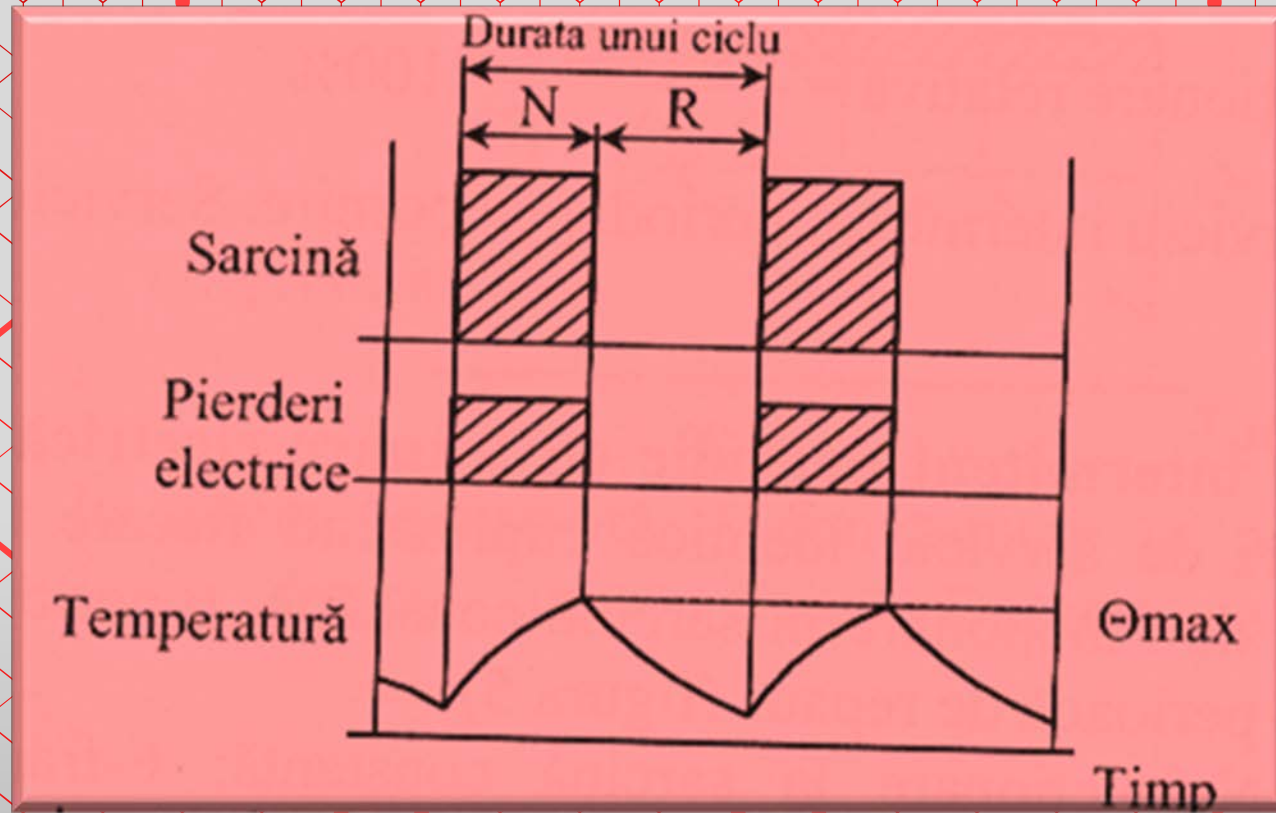


P/N		S/N		Audit		Amb. 70°C	Ins. Cl. F
ph	Output	kW	HP	Duty S2 - 30 min		Prot. IP 00	
○	Hz	V	R.P.M.	Code:	Design:	○	
	I nom.	A		P.F.	Eff.	%	
Use a non aggressive paraffinic oil		Reliability assured only by using thermal detectors			Max 30 pct overload for 45 sec		

For operating instructions see www.elmoitaly.com PATENTED MADE IN ITALY

Serviciul S2 – este urmat de durata de serviciu – ex: S2 30 min

Serviciul S3 – serviciu intermitent periodic



Suită de cicluri de serviciu identice: funcționare la sarcină constantă + repaus

Durata de acționare relativă:
$$\frac{N}{N + R} \cdot 100\%$$

Serviciul S3 – serviciu intermitent periodic

CRANE AND METALLURGICAL WOUND ROTOR THREE-PHASE INDUCTION MOTOR							
TYPE	YZR280M-6	STANDARD	JB/T10105-1999	SERIES NO.	A14D35VN		
OUTPUT	63 kW	STATOR	380 V 124 A	CONN.	Y	FREQ.	50 Hz
SPEED	975 r/min	ROTOR	370 V 108 A	CONN.	Y	IP	54
DUTY	S3-60%	J_m	2.86 kg.m ²	101 dB(A)	INS. CL. F	IC	411
AMBIENT TEMP.	40 °C	IM	1003	W.T.	840 kg	DATE	12.2014

SHANGHAI FORTUNE ELECTRIC CO., LTD. CE
Service: Phone +86-13505754942 sales@cn-electric.com MADE IN CHINA

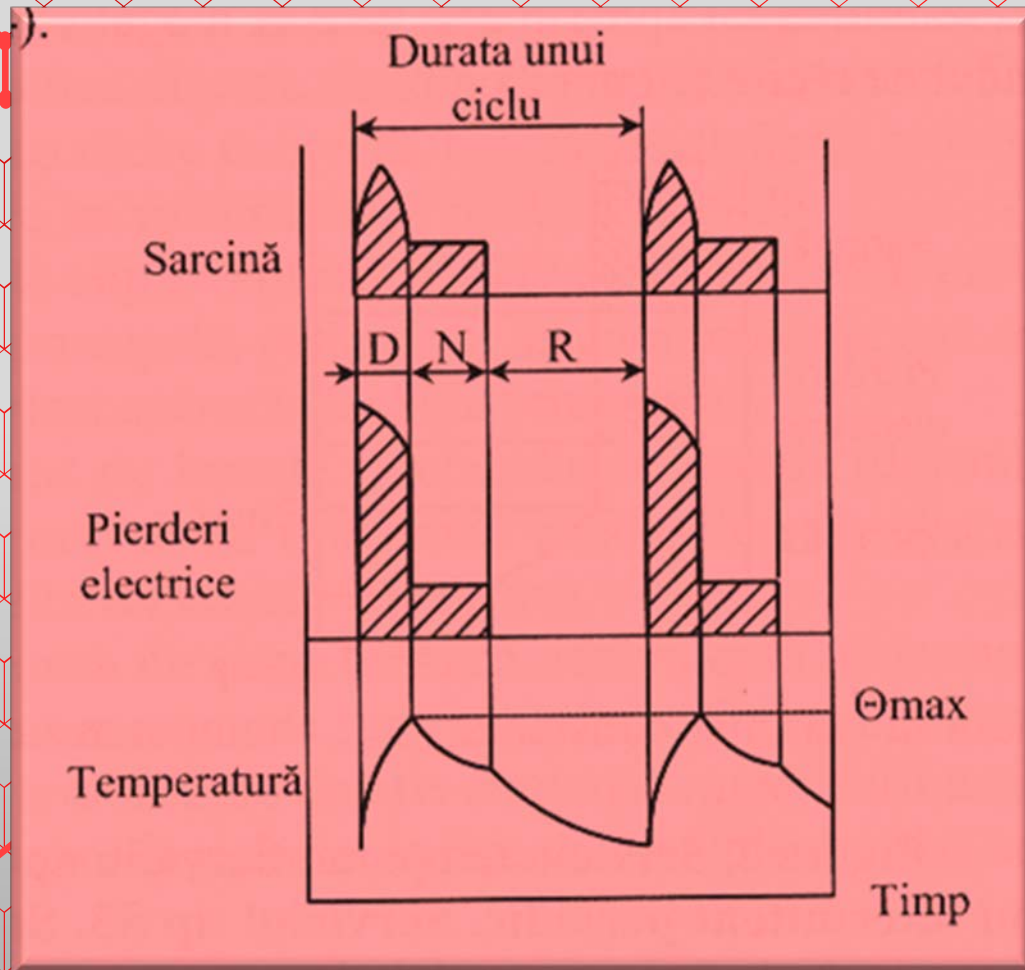
CRANE AND METALLURGICAL WOUND ROTOR THREE-PHASE INDUCTION MOTOR							
TYPE	JZR231-6	STANDARD		SERIES NO.	16120514		
OUTPUT	11 kW	STATOR	380 V 27 A	CONN.	Y	FREQ.	50 Hz
SPEED	950 rpm	ROTOR	226 V 33 A	CONN.	Y	IP	54
DUTY	S3 25 %	J_m	0.2 (kg.m ²)	LW	88 dB(A)	INS. CL. F	IC 411
AMBIENT TEMP.	40 °C	IM	1001	W.T.	165 kg	DATE	1704

PTC SHANGHAI FORTUNE ELECTRIC CO., LTD.
Service: cell +86-13585754942 sales@cn-electric.com MADE IN CHINA

Durata de acționare relativă:

$$\frac{N}{N+R} \cdot 100\%$$

Serviciul S4 – serviciu intermitent periodic cu pornire

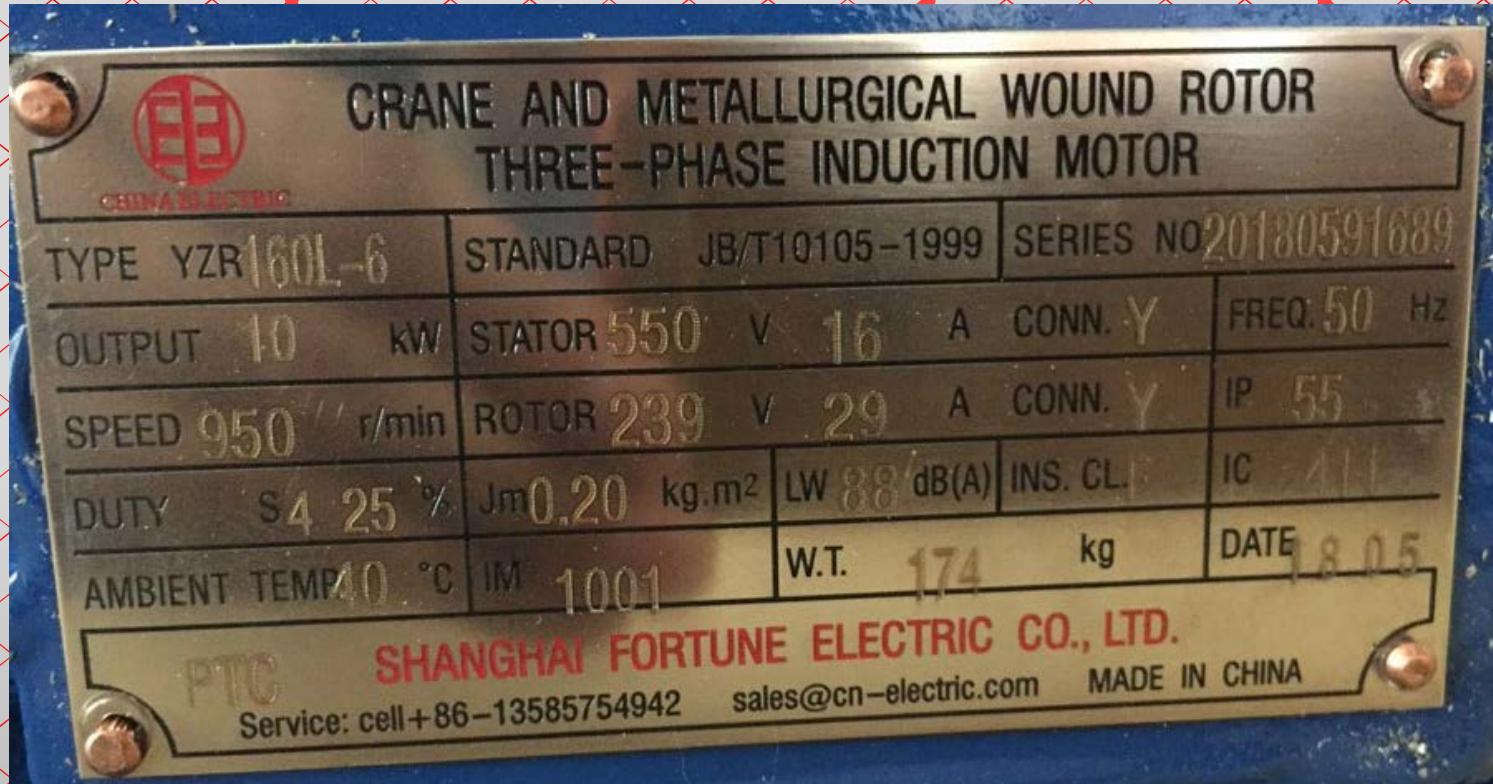


**Suită de cicluri identice: pornire +
funcționare la sarcină constantă +
repaus**

Durata de acțiune relativă:

$$\frac{D + N}{D + N + R} \cdot 100\%$$

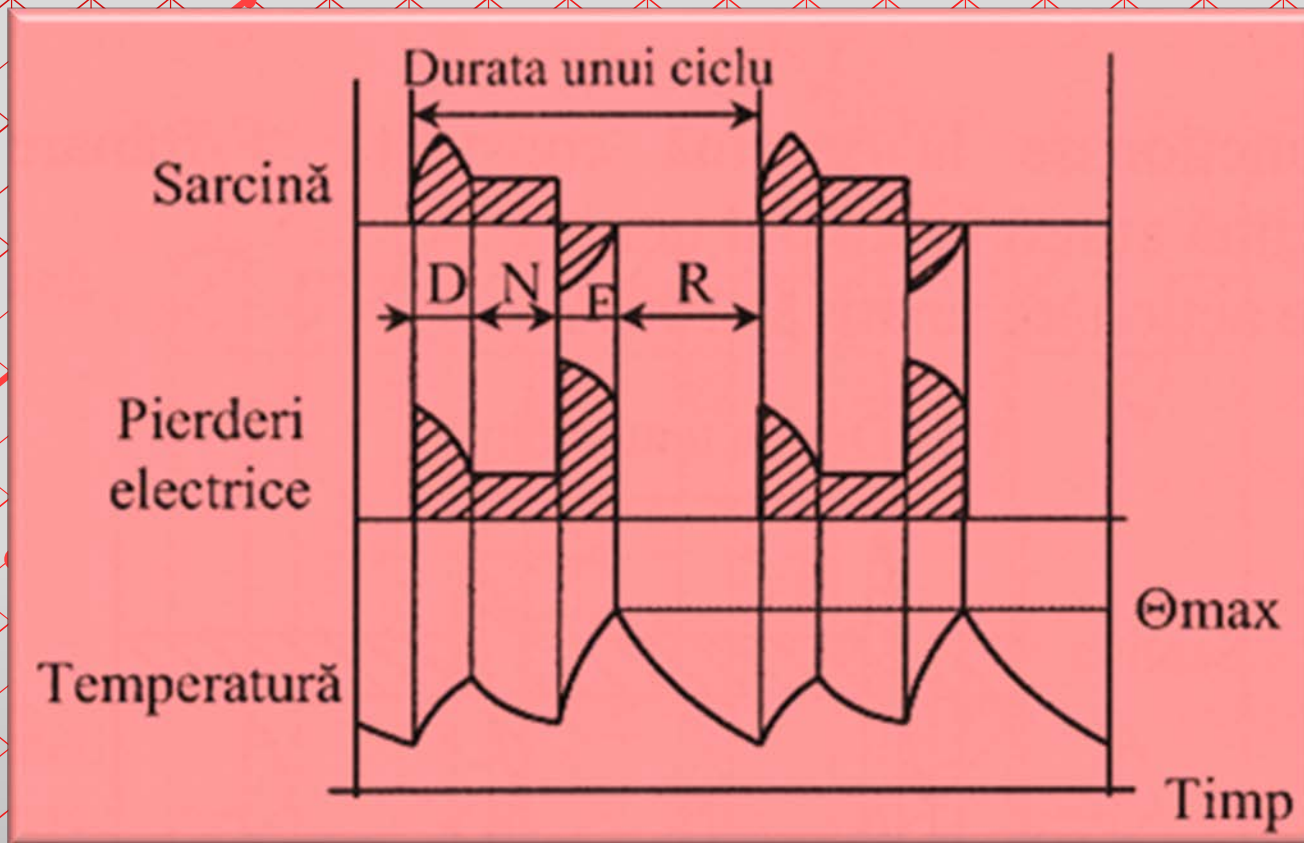
Serviciul S4 – serviciu intermitent periodic cu pornire



Durata de acționare relativă:

$$\frac{D+N}{D+N+R} \cdot 100\%$$

Serviciul S5 – Serviciu intermitent periodic cu frânare electrică

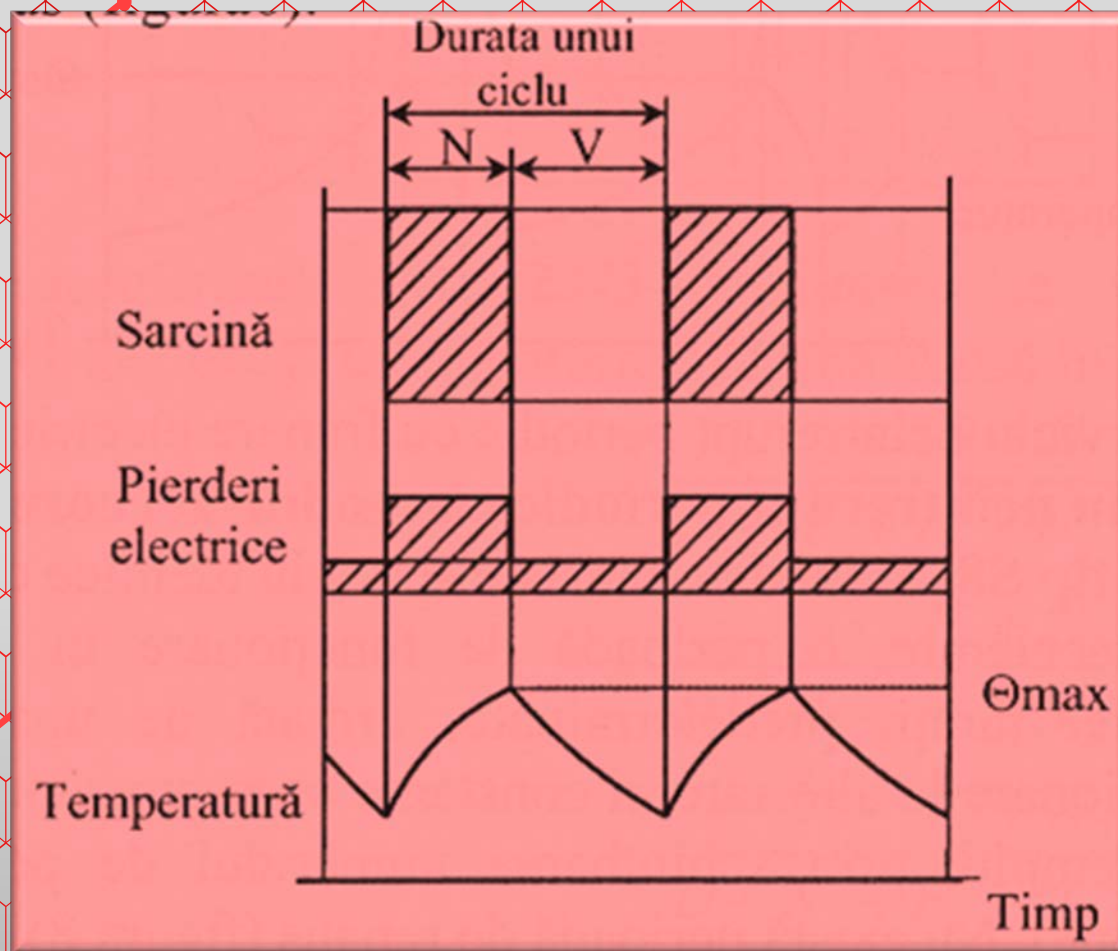


Suită de cicluri identice: pornire + funcționare la sarcină constantă + frânare electrică rapidă + repaus

Durata de acțiune relativă:

$$\frac{D + N + F}{D + N + F + R} \cdot 100\%$$

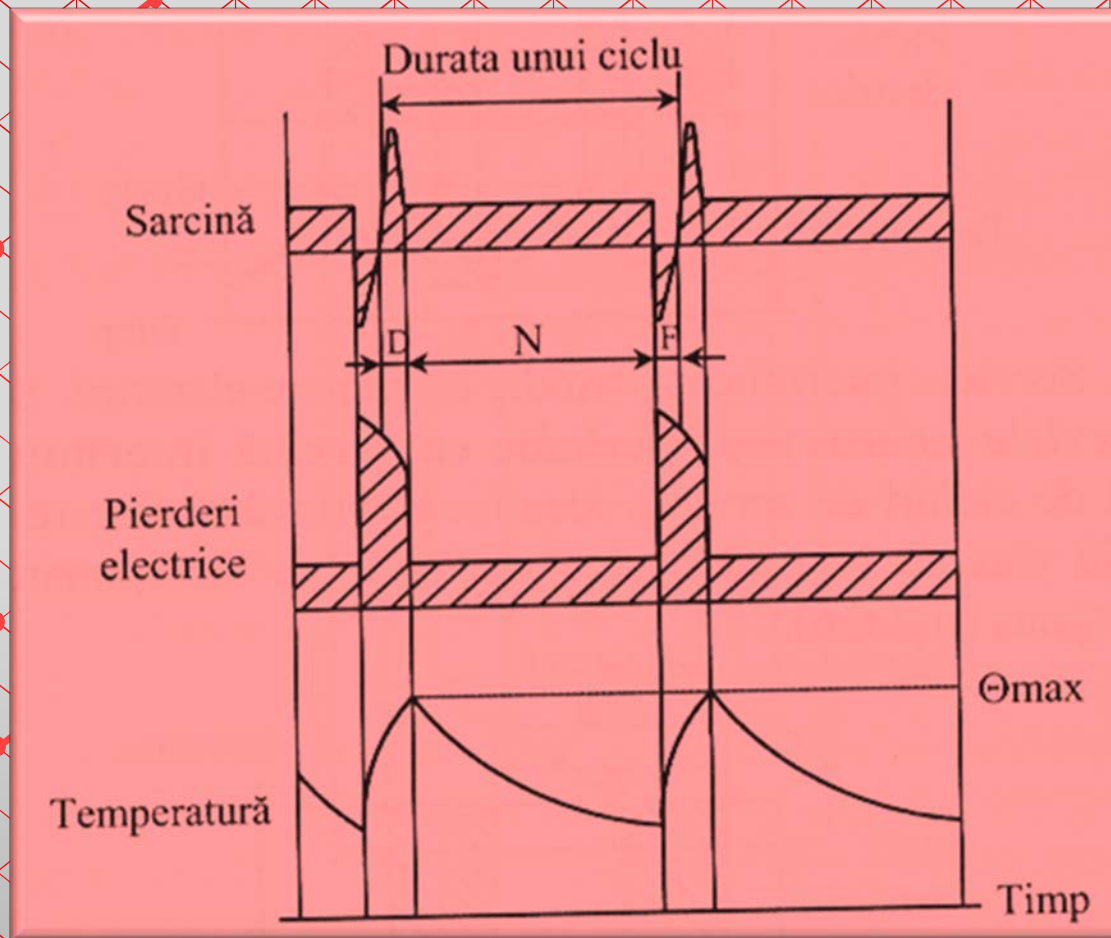
Serviciul S6 – Serviciu neîntrerupt periodic cu sarcină intermitentă



Suită de cicluri identice: funcționare la sarcină constantă + funcționare la gol (FĂRĂ repaus)

Durață de acționare relativă: $\frac{N}{N+V} \cdot 100\%$

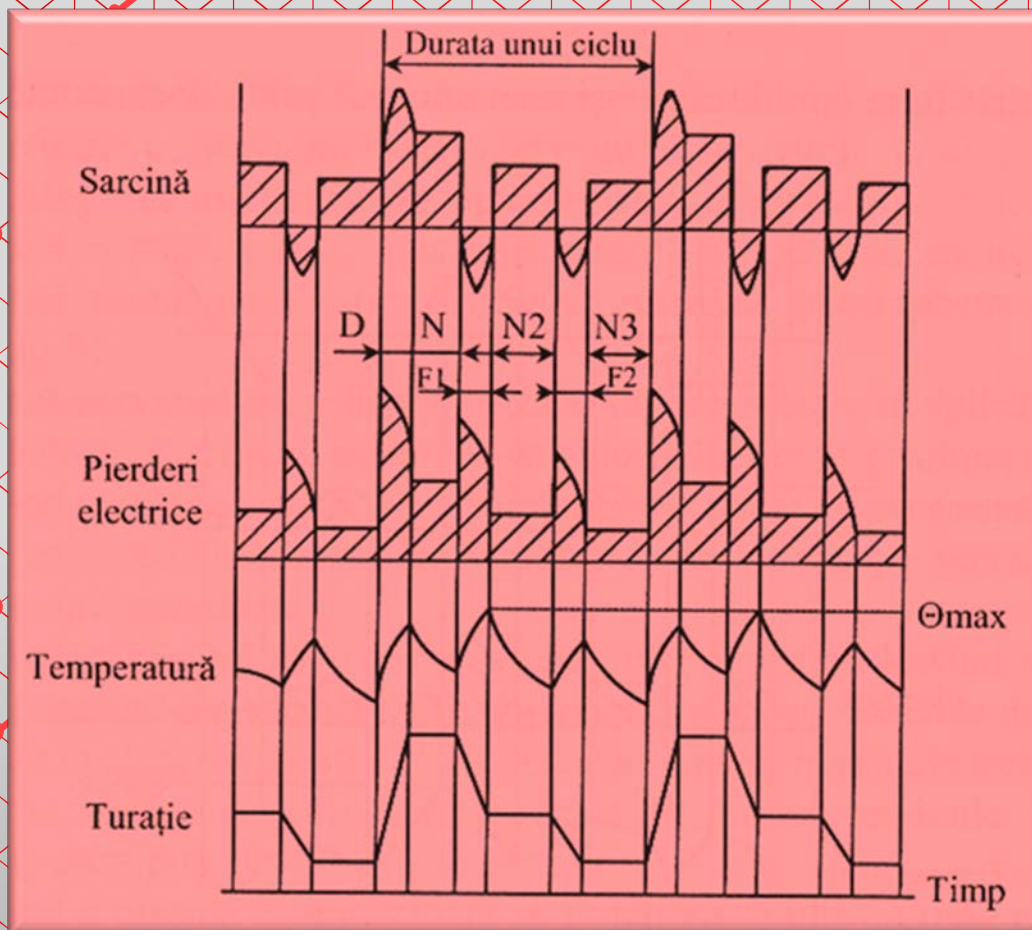
Serviciul S7 – Serviciu neîntrerupt periodic cu frânare electrică



Suită de cicluri identice: pornire + funcționare la sarcină constantă + frânare electrică (FĂRĂ repaus)

Durata de acțiune relativă: 100%

Serviciul S8 – Serviciu neîntrerupt periodic cu modificări corelate cu sarcina și turația

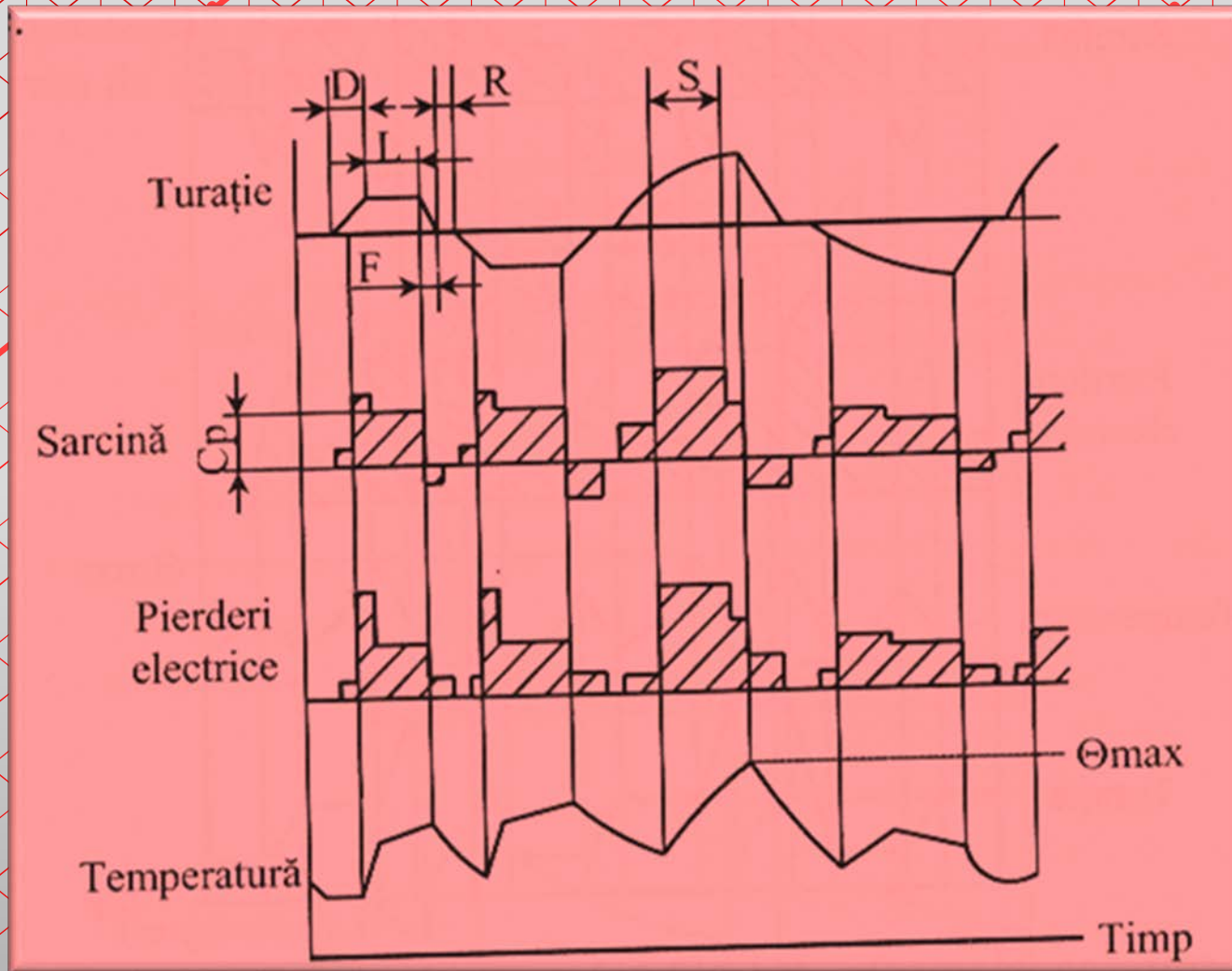


Suită de cicluri identice: accelerare (pornire) + funcționare la sarcină constantă + frânare + funcționare la altă sarcină constantă +... (FĂRĂ repaus)

Durata de acțiune relativă:

$$\frac{D + N_1}{D + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \cdot 100\%$$

Serviciul S9 – Serviciu cu variații neperiodice de sarcină și turație



Sarcina și turația au o variație neperiodică (apar inclusiv suprasarcini)

Indicații adiționale

- **Durata unui ciclu: 10 min (dacă nu se specifica altfel) sau o altă valoare indicată**
- **Durata de acționare relativă: 15%; 25%; 40%; 60%**
- **Serviciul S2 – urmat de durata de serviciu – ex: S2 60 min**
- **Serviciile S3 și S6 – urmate de durata de acționare relativă - ex; S3 25%, S6 15%**
- **Serviciile S4 și S5 - urmate de durata de acționare relativă și valorile momentului de inerție al motorului respectiv al sarcinii – ex: S4 25% $J_M=0,15\text{kgm}^2$; $J_{\text{ext}}=0,75\text{kgm}^2$**
- **Serviciul S7 - urmate de valorile momentului de inerție al motorului respectiv al sarcinii – ex: S7 $J_M=0,4\text{kgm}^2$; $J_{\text{ext}}=7,5\text{kgm}^2$**
- **Serviciul S8 - urmate de valorile momentului de inerție al motorului respectiv al sarcinii și de valorile sarcinii, turației și duratei de acționare relativă – ex: S8 $J_M=0,5\text{kgm}^2$; $J_{\text{ext}}=6\text{kgm}^2$; 16 kW 740 rot/min 30%; 40kW 1460 rot/min 30%; 25 kW 980 rot/min 40%.**

Thank



You!

Email: livadaru@tuiasi.ro

„Gh. Asachi” Technical University of Iasi, Romania



**Conștiența asistată de calculator
a mașinilor electrice**

**PRODUCATOR,
SCENARIST,
REGIZOR**

slip or not to slip...

