



Prezentari ppt.

*Conf. Leonard Livadaru
Universitatea Tehnica Iasi*

2020-2021

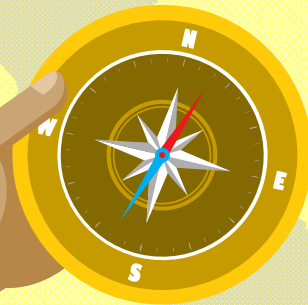


PRINCIPII DE FUNCȚIONARE A
MAȘINILOR ELECTRICE

**Principiul inducției
electromagnetice**

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

Principiul histerezisului



PRINCIPIUL INDUCȚIEI ELECTROMAGNETICE

FARADAY



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

LENZ



$$k = -1$$

$$e = - \frac{d\varphi}{dt}$$

Forma globala (integrala)

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

Forma locala (diferentiala)

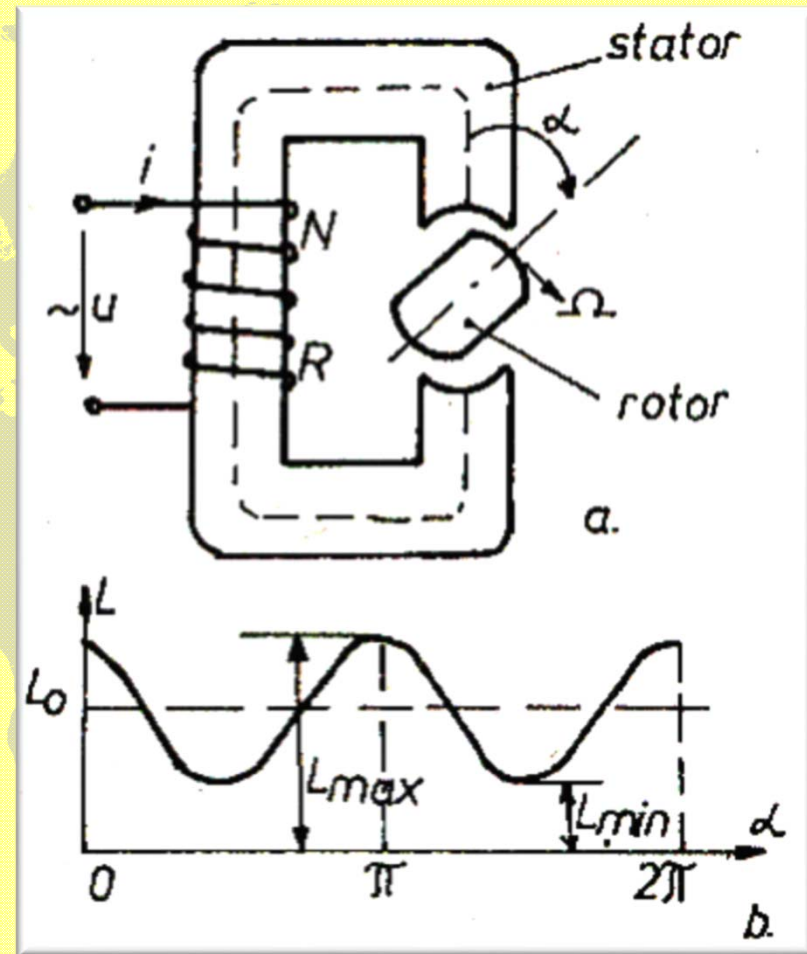
$$\text{rot } \bar{E} = - \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} - \text{rot } (\bar{B} \times \bar{v})$$

PRINCIPIUL RELUCTANTEI VARIABILE (principiul anizotropiei de forma)

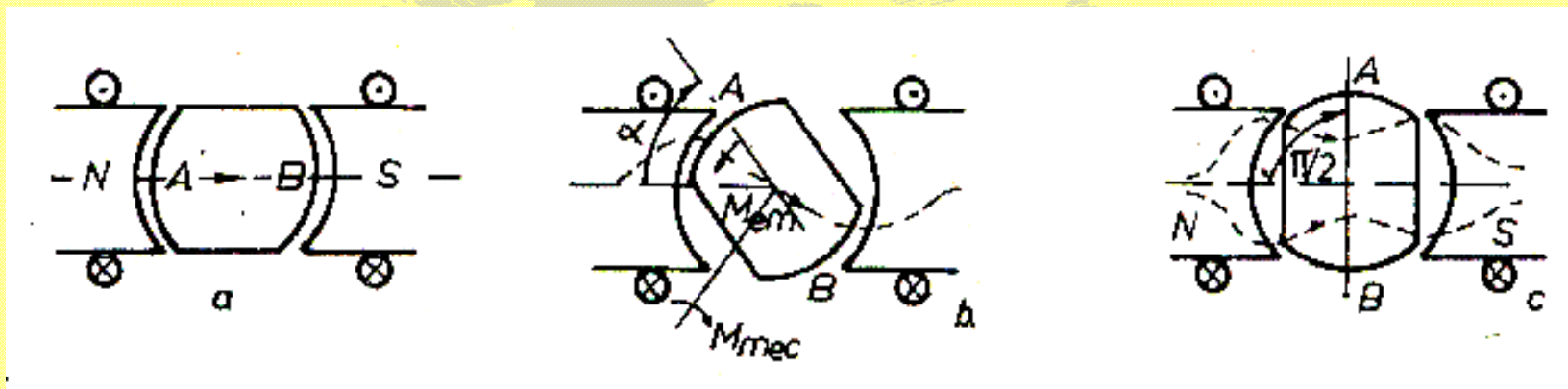
$$L = L_0 (1 + m \cos 2\alpha)$$

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

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



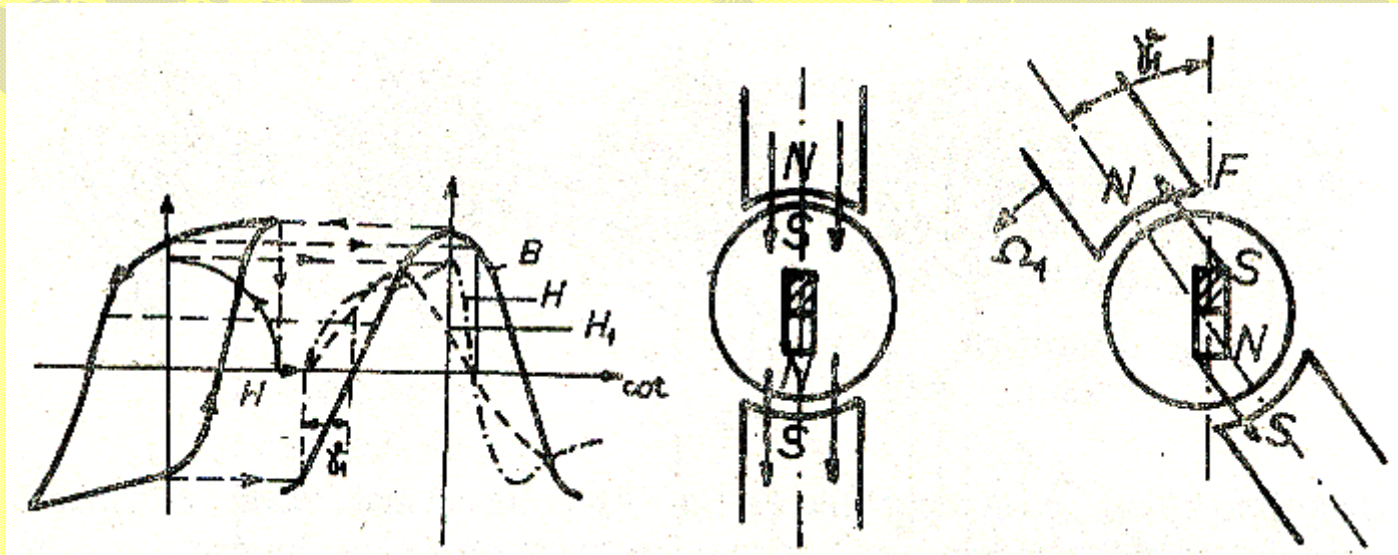
PRINCIPIUL RELUCTANTEI VARIABILE (principiul anizotropiei de forma)



$$W_m = \frac{1}{2} Li^2 \qquad M_e = \frac{dW_m}{d\alpha}$$

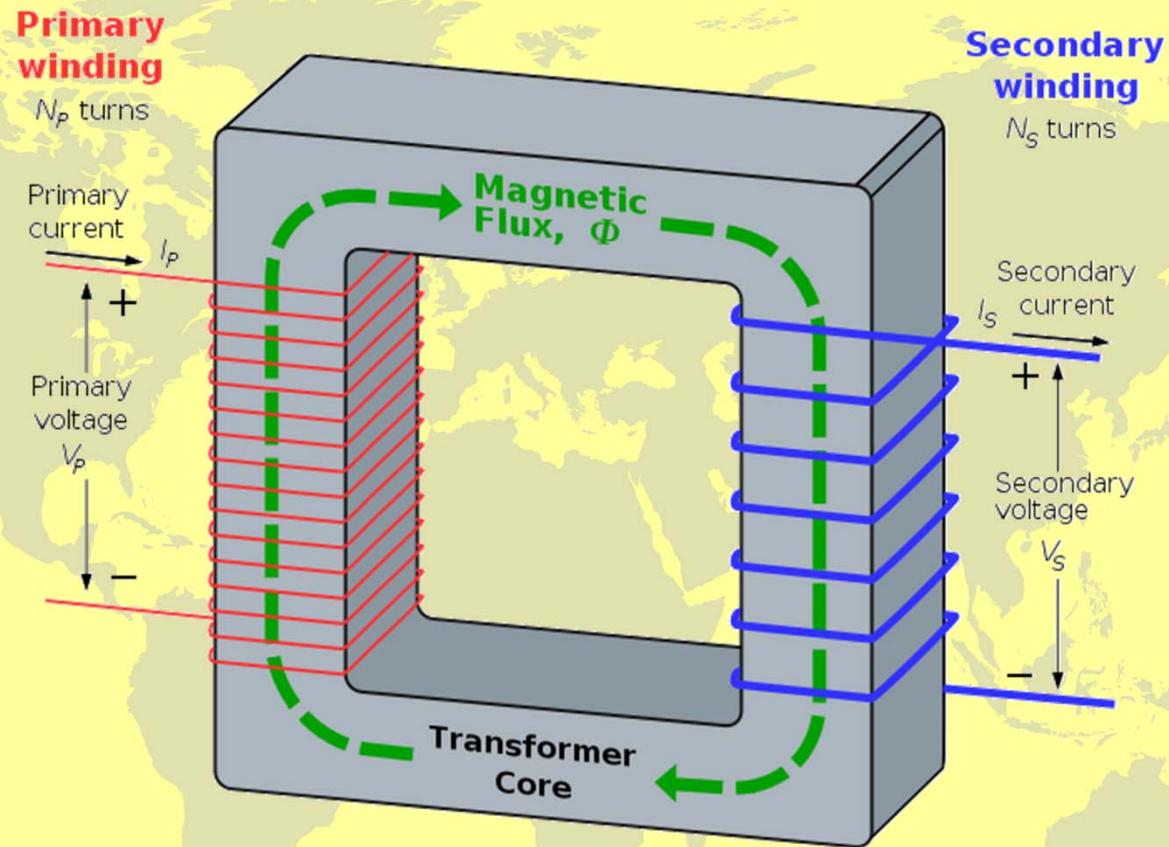
$$M_e = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\alpha} = -m \cdot L_0 \cdot i^2 \cdot \sin 2\alpha = -M_{e \max} \cdot \sin 2\alpha$$

PRINCIPIUL HISTEREZISULUI



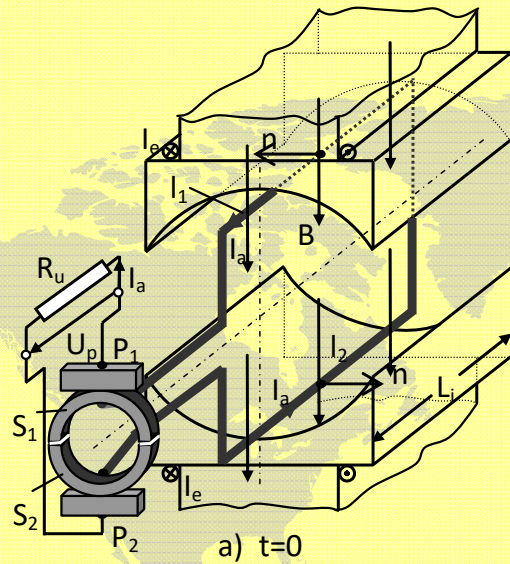
$$M_e = k_H \cdot B_S \cdot \theta_r \cdot \sin \mathcal{G}_1$$

Transformatorul electric

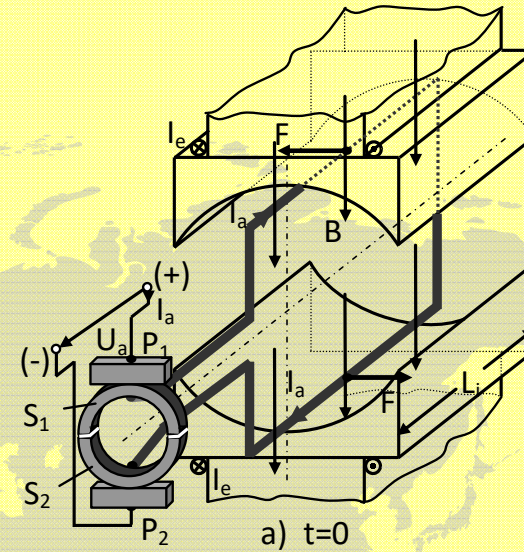


Prin alimentarea înfășurării primare de la o sursă de tensiune alternativă ia naștere un câmp magnetic variabil în miezul magnetic al transformatorului. Conform legii inducției electromagnetice, se induce o tensiune în înfășurarea secundară care se regăsește la borne.

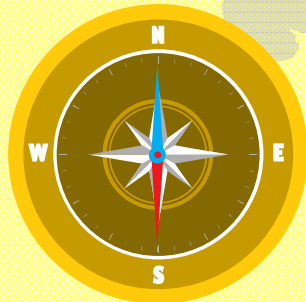
Mașina de c.c.



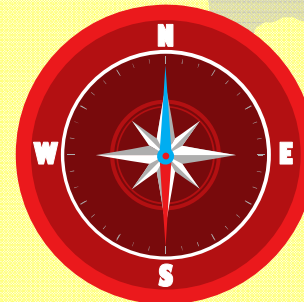
Prin alimentarea înfășurării de excitație apare un câmp magnetic fix în spațiu și constant în amplitudine. Rotirea înfășurării rotorice în acest câmp duce la apariția unei tensiuni induse alternative. Ea este redresată de sistemul colector-perii și se regăsește la bornele mașinii.



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 spirele acesteia. Interacțiunea dintre câmp și curent determină apariția unei forțe (Laplace) respectiv a unui cuplu ce determină rotirea rotorului.

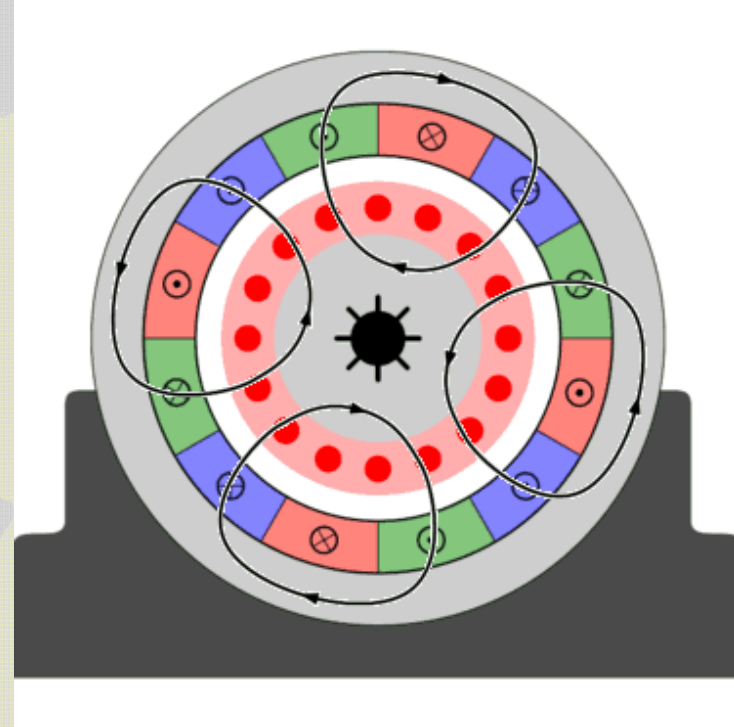


Generator



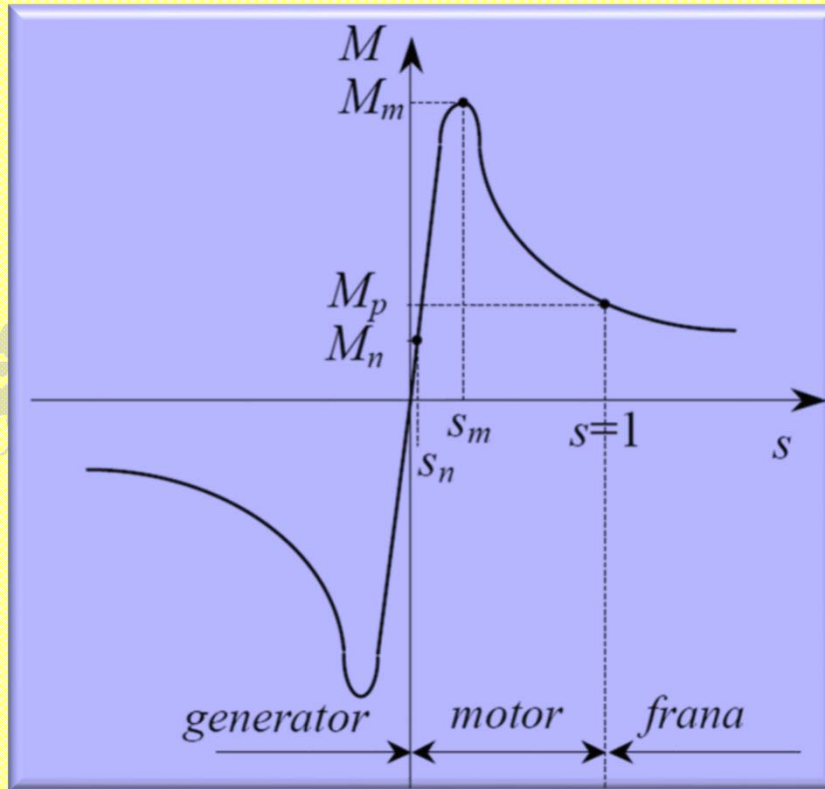
Motor

Mașina asincrona

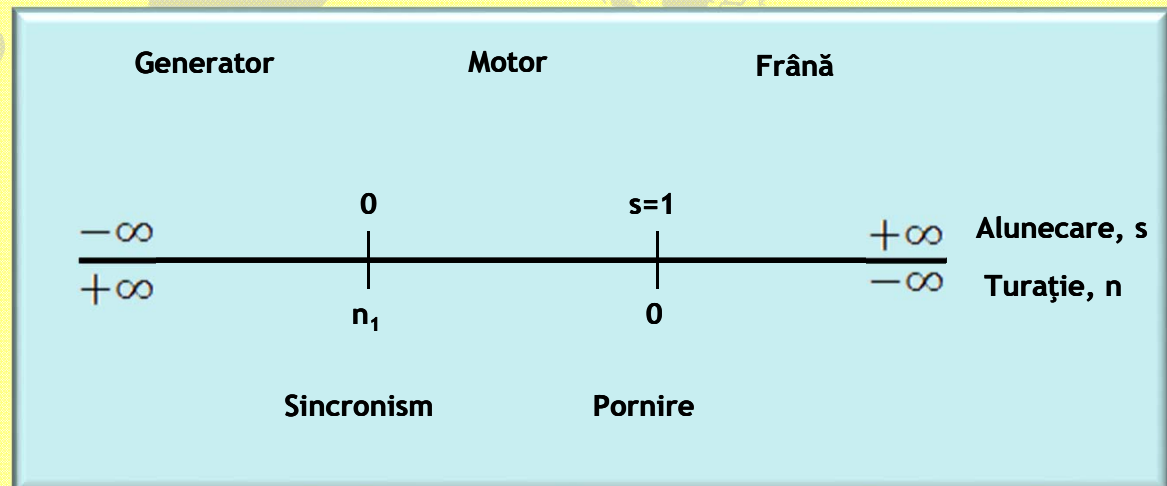


Prin alimentarea înfășurării polifazate statorice apare un câmp magnetic învârtitor. Conform legii inducției electromagnetice, acesta induce în înfășurarea rotorica o tensiune. Dacă înfășurarea este închisă, apare un sistem de curenți care, prin interacțiune cu câmpul magnetic inductor, determina apariția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

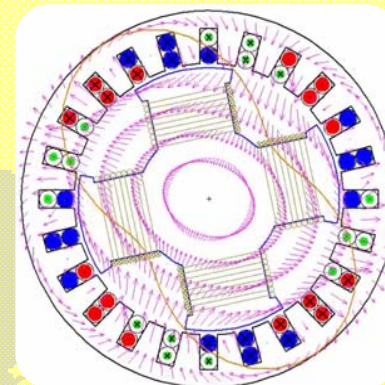
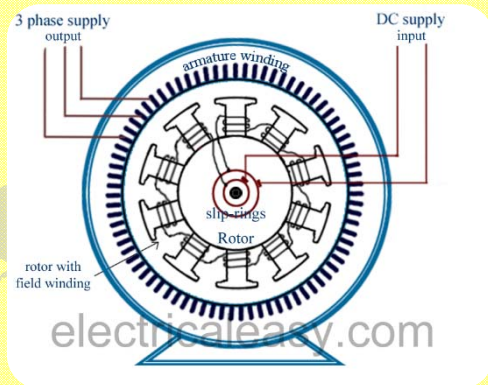
Regimuri de funcționare a mașinii asincrone



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

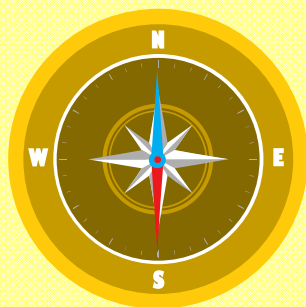


Mașina sincrona

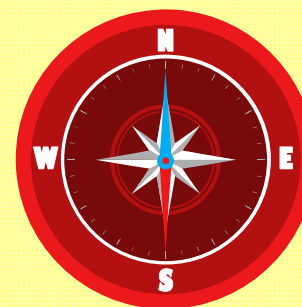


Prin alimentarea înfășurării de excitație apare un câmp magnetic fix în spațiu și constant în amplitudine. Atunci când rotorul se rotește, câmpul inductor devine un câmp învârtitor care, conform legii inducției electromagnetice, induce în înfășurarea statorică o tensiune ce se regăsește la bornele mașinii.


Prin alimentarea înfășurării statorice de la o sursă de tensiune polifazăată apare un câmp magnetic învârtitor. Atunci când înfășurarea de excitație, rotorica, 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 poli de nume contrar creați de cele două înfășurări ce determină funcționarea mașinii sincrone în regim de motor.



Generator



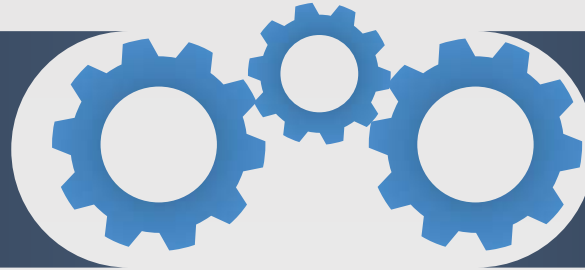
Motor

The background features a light gray gradient. On the left side, there are two black gears of different sizes, one above the other. A horizontal band of three stripes (yellow, orange, and blue) runs across the middle of the slide. A large, gray, rounded rectangular shape with a dashed white border is centered horizontally, containing the main text.

Materialie utilizate in construcția mașinilor electrice

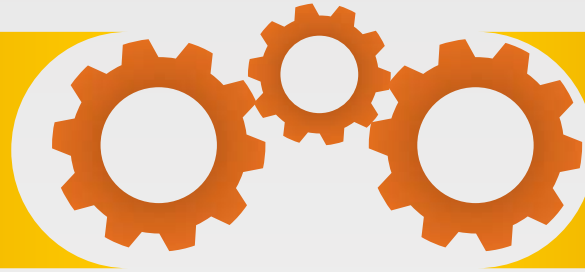
CUPRINS

Materiale feromagnetice



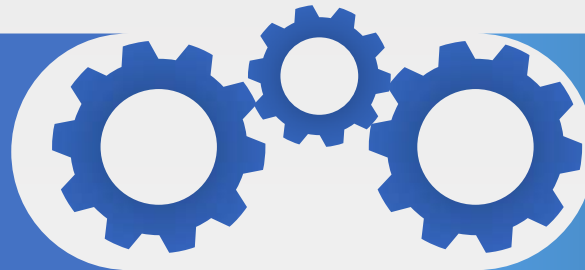
01

Materiale conductoare
si izolatoare



02

Magneți permanenți



03



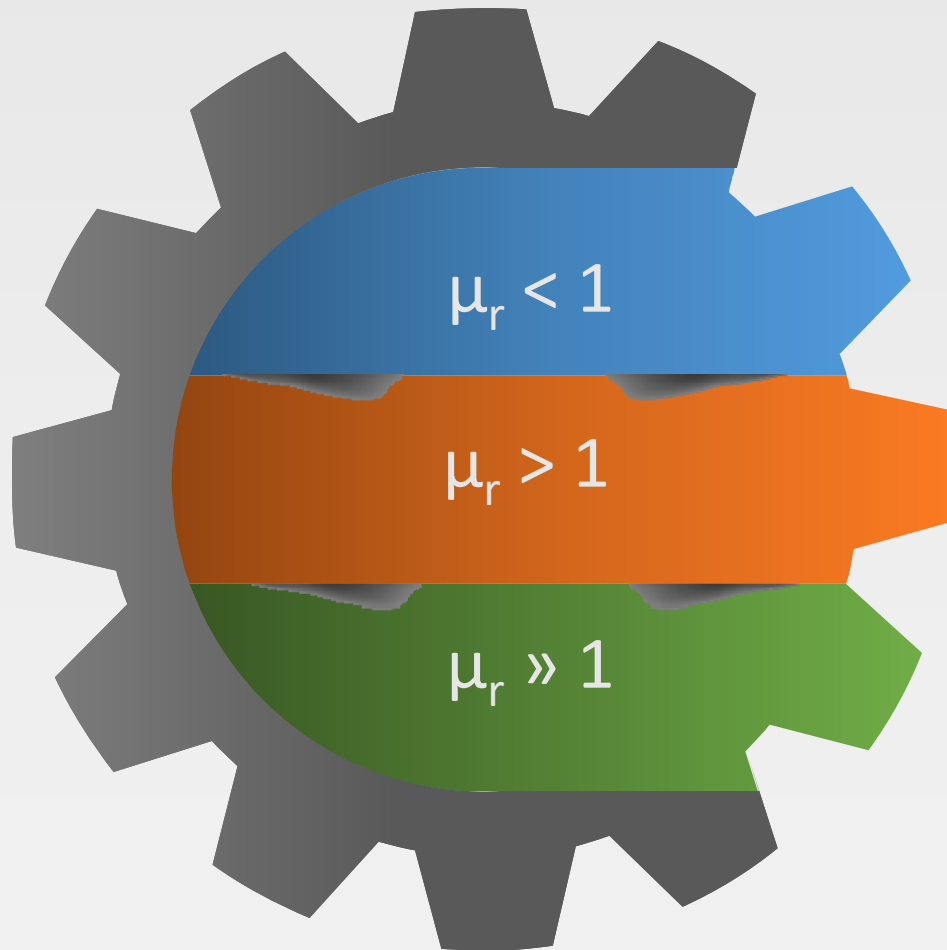
***MATERIALE
FEROMAGNETICE***

CLASIFICARE

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

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

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



DIAMAGNETIC

PARAMAGNETIC

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.

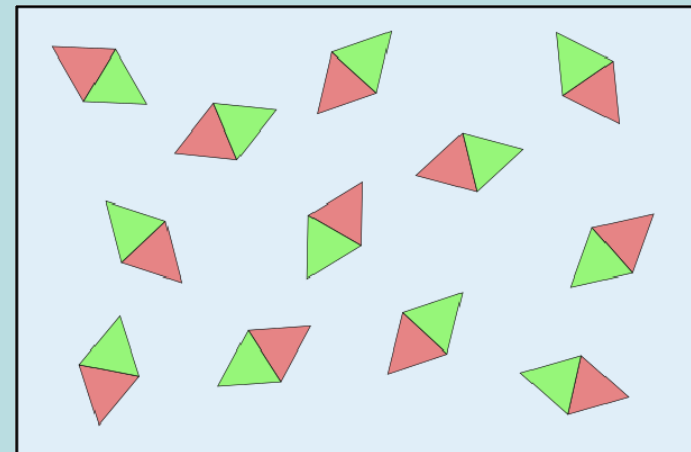
Materialele diamagnetice : apa, lemn, cei mai mulți compuși organici ca petrolul și unele materiale plastice și metale precum mercur, cupru, aur, bismut.

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.

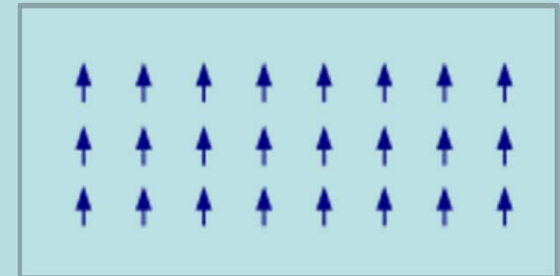


Feromagnetismul este proprietatea unor materiale de a forma câmpuri magnetice puternice în prezența unui câmp magnetic exterior.

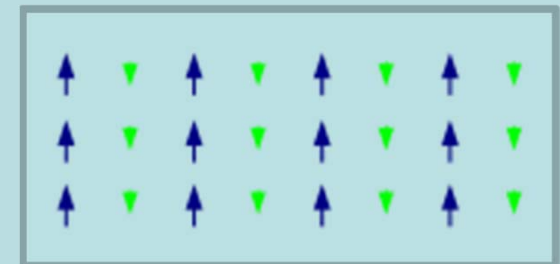
Permeabilitatea relativă a materialelor feromagnetice este mult mai mare ca 1. Reacția magnetică se manifestă prin forțe puternice de atracție sau respingere.

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

Când câmpul magnetic exterior dispare, 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.

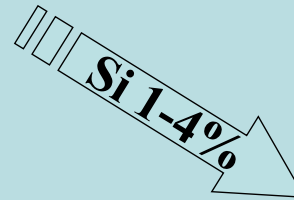


MATERIALE FEROMAGNETICE



TARI

(CICLU DE HISTEREZIS LAT)



MOI

(CICLU DE HISTEREZIS INGUST)

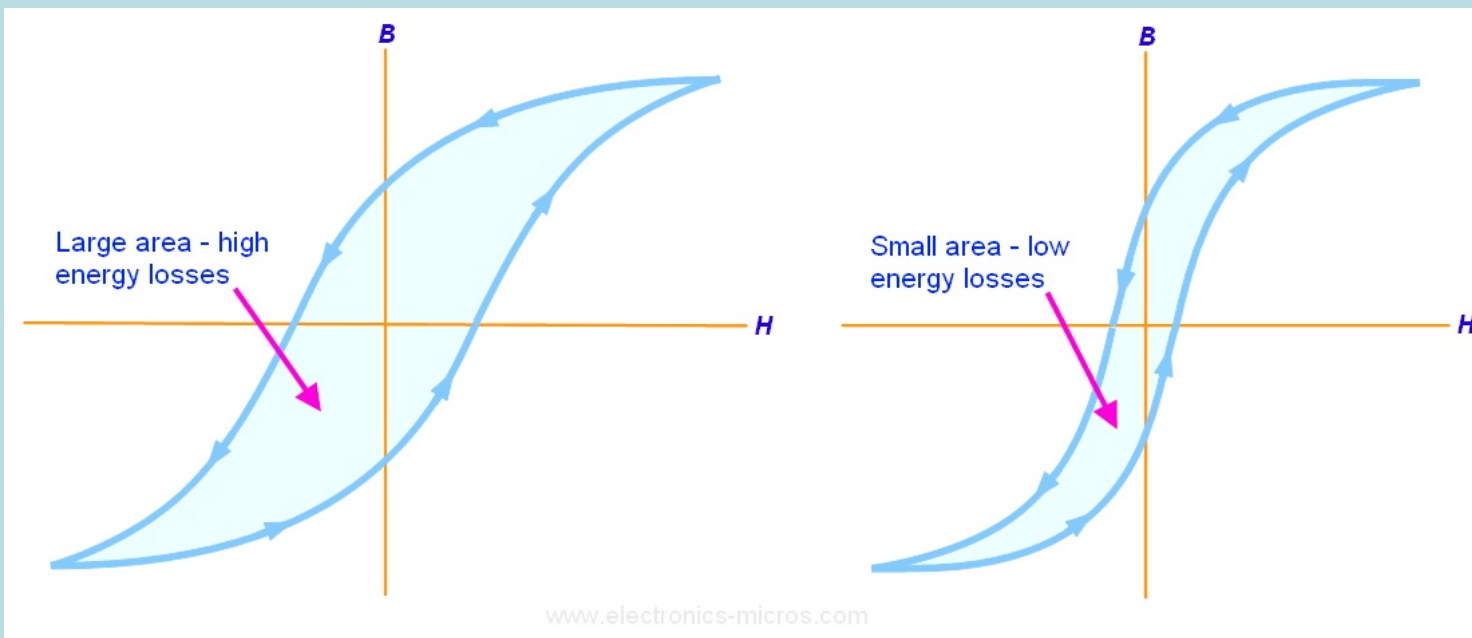


Tabla silicioasa

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.

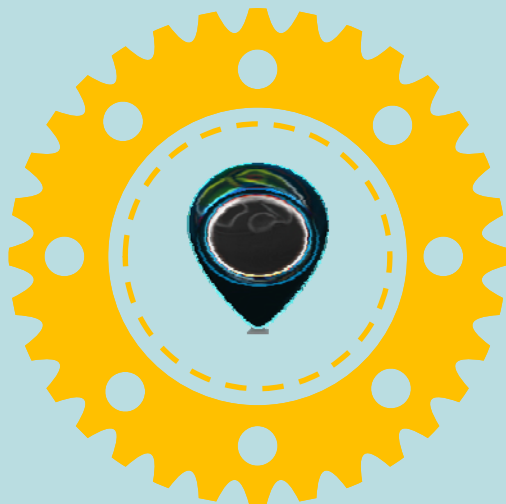
JNEH™ CORE

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 (0.0080)	7.65	12.00	5.44
20JNEH1500		7.65	15.00	6.80

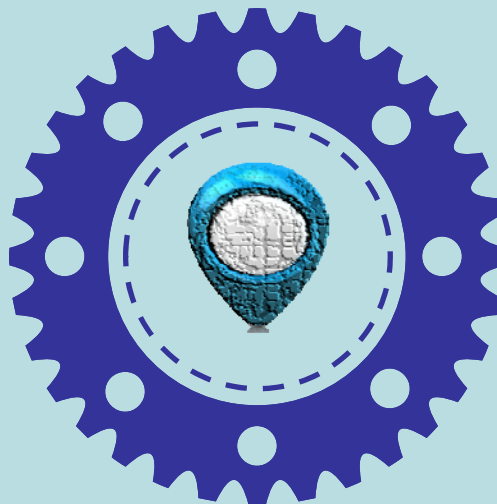
Note : The values are to be measured to the method JIS C 2550 (2000) on the specimens consisted of half the strip sheared parallel and half sheared transverse to the rolling direction. The specimens are to be tested as sheared.

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

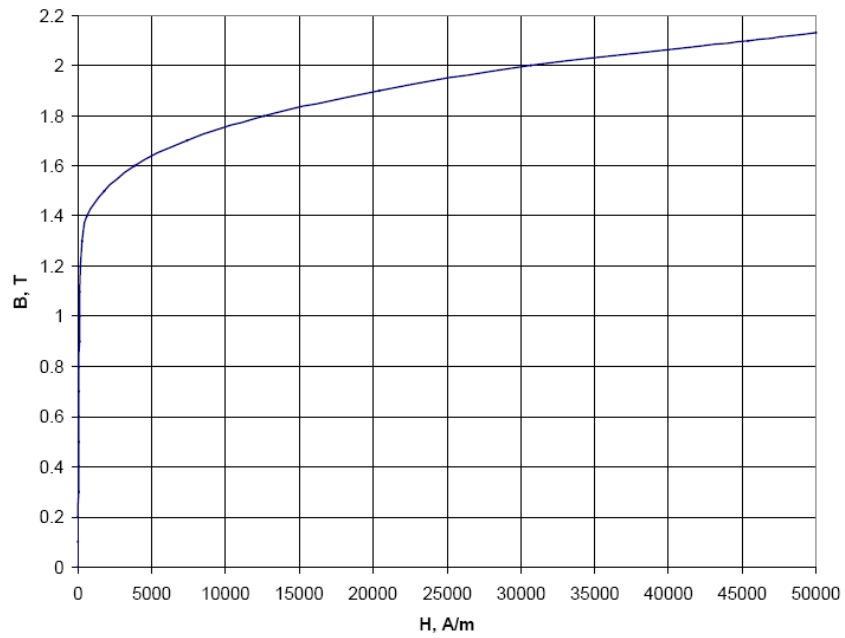


Fig. 2.1. Magnetization curve of fully processed *Armco* DI-MAX nonoriented electrical steel M-19.

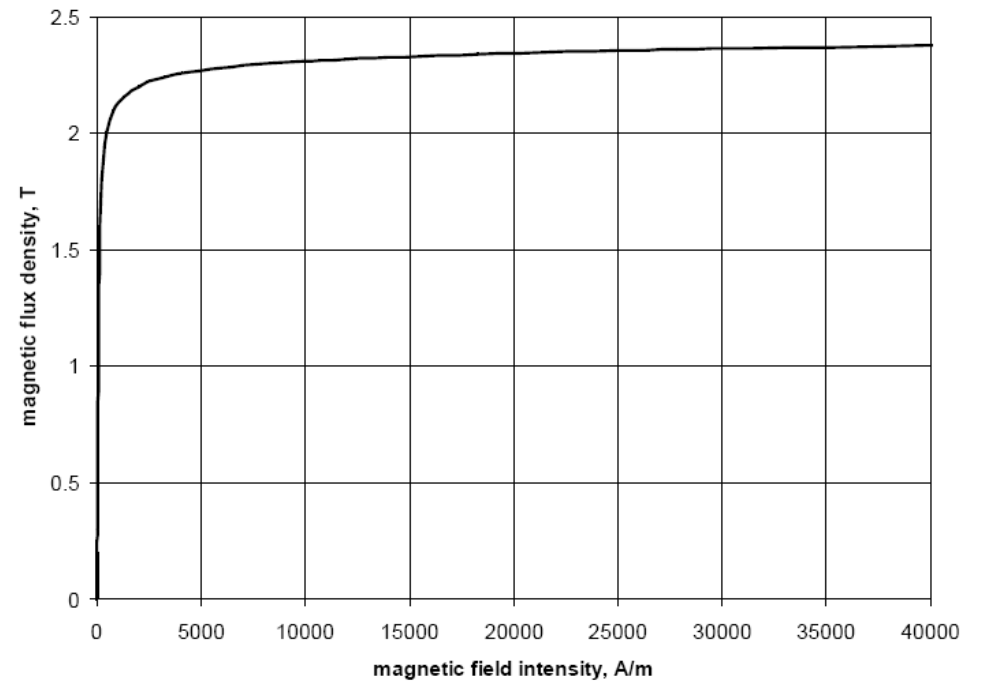


Fig. 2.5. Magnetization curve of Hiperco50.



Materiale feromagnetice amorfe

Amorphous ferromagnetic materials

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

Materiale magnetice compozite

Soft magnetic powder composites

- ✓ Compozitie: pudra de Fe + material dielectric (rasini epoxidice) + umplutura (sticla sau fibre de carbon pentru cresterea duritatii)
- ✓ dielectromagnetice (pana la 2% dielectric); magnetodielectrice (peste 2% dielectric);
- ✓ Utilizate pentru realizarea de circuite magnetice complicate (masini cu poli gheara sau masini cu flux transversal)

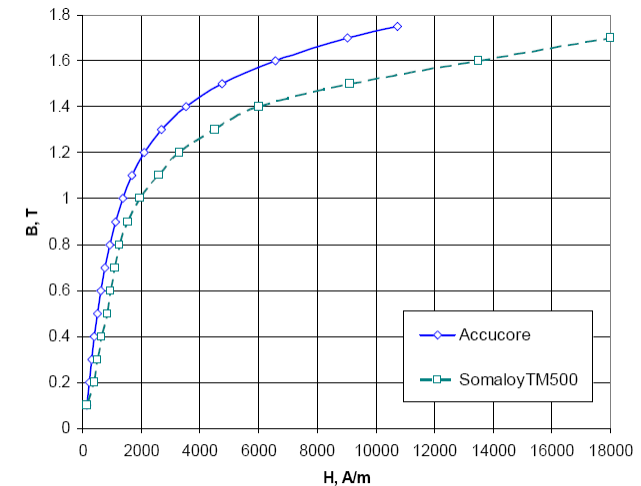


Fig. 2.8. Comparison of magnetization curves of *Accucore* and *SomaloyTM 500*.

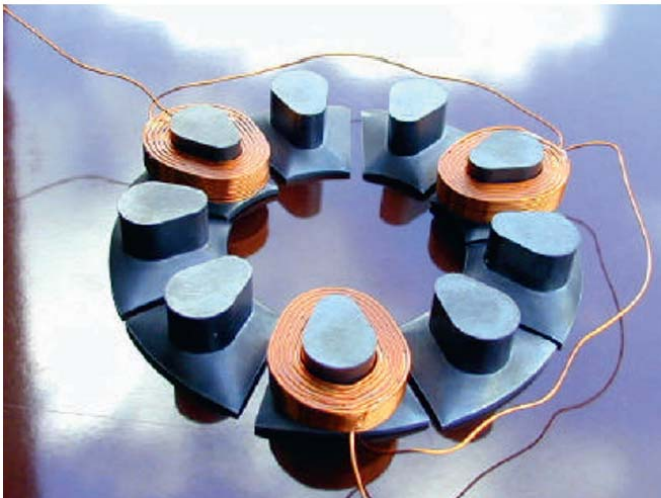


Fig. 2.11. SMC powder salient pole stator for disc type (axial flux) PM motors. Courtesy of *Höganäs*, Höganäs, Sweden.



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.



Otel carbon sub
forma de foi
(grosime de 10-
50 mm)

Otel turnat

Fonta turnata

Otel forjat



MATERIALE
CONDUCTOARE
ȘI IZOLATOARE

Materiale conductoare (proprietăți)



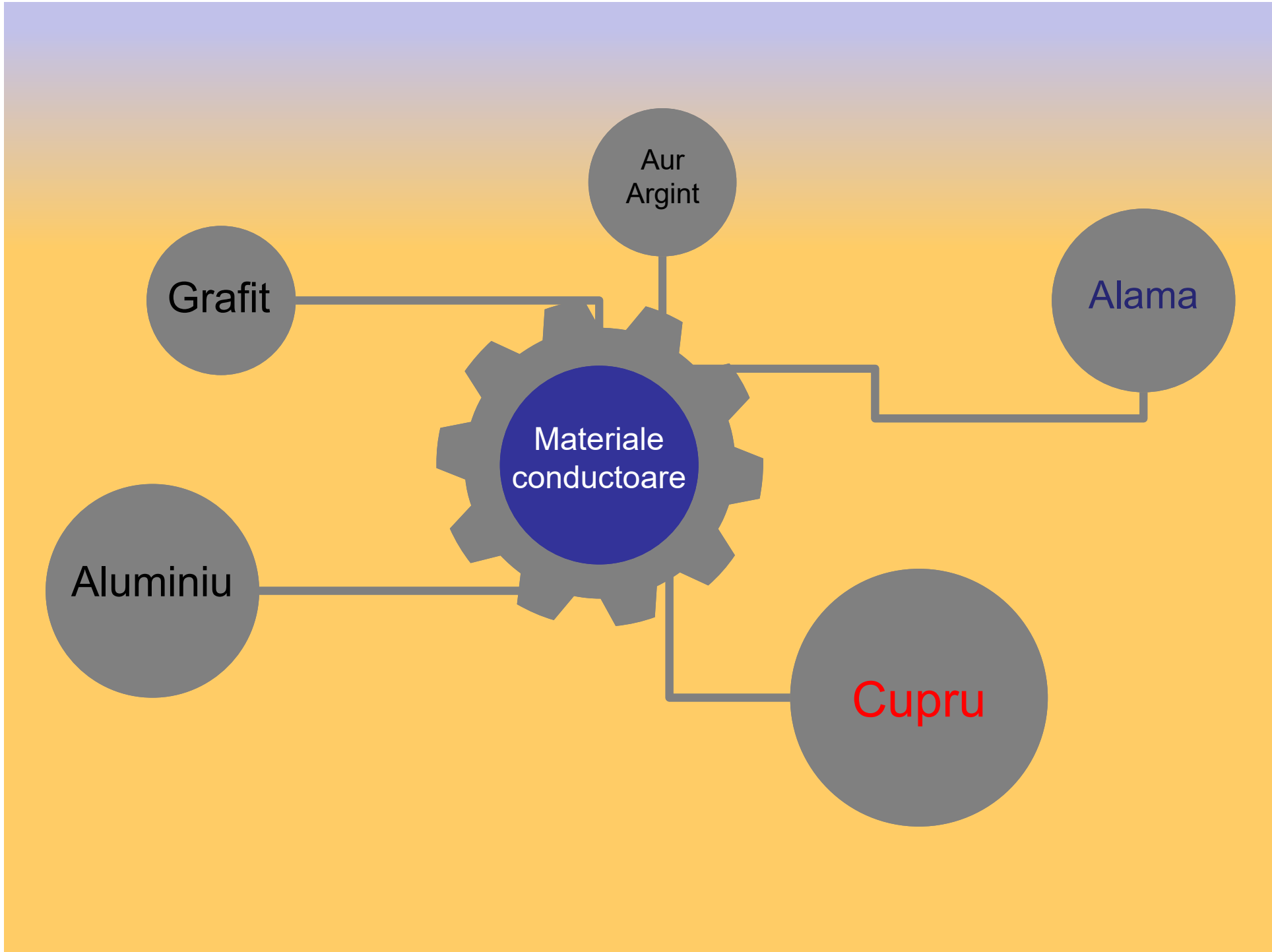
Rezistivitate
electrică cât
mai redusă



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)



1

Rigiditate dielectrica mare



2

Conductivitate termica ridicata



3

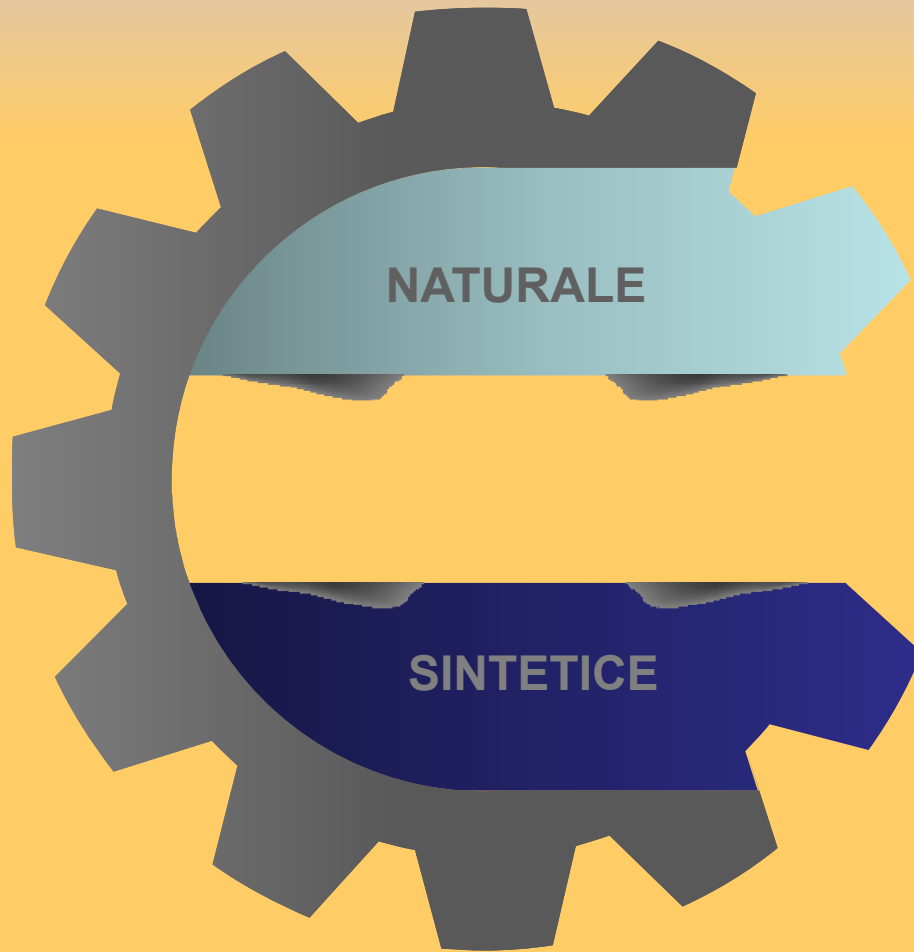
Proprietăți mecanice si de prelucrare bune



4

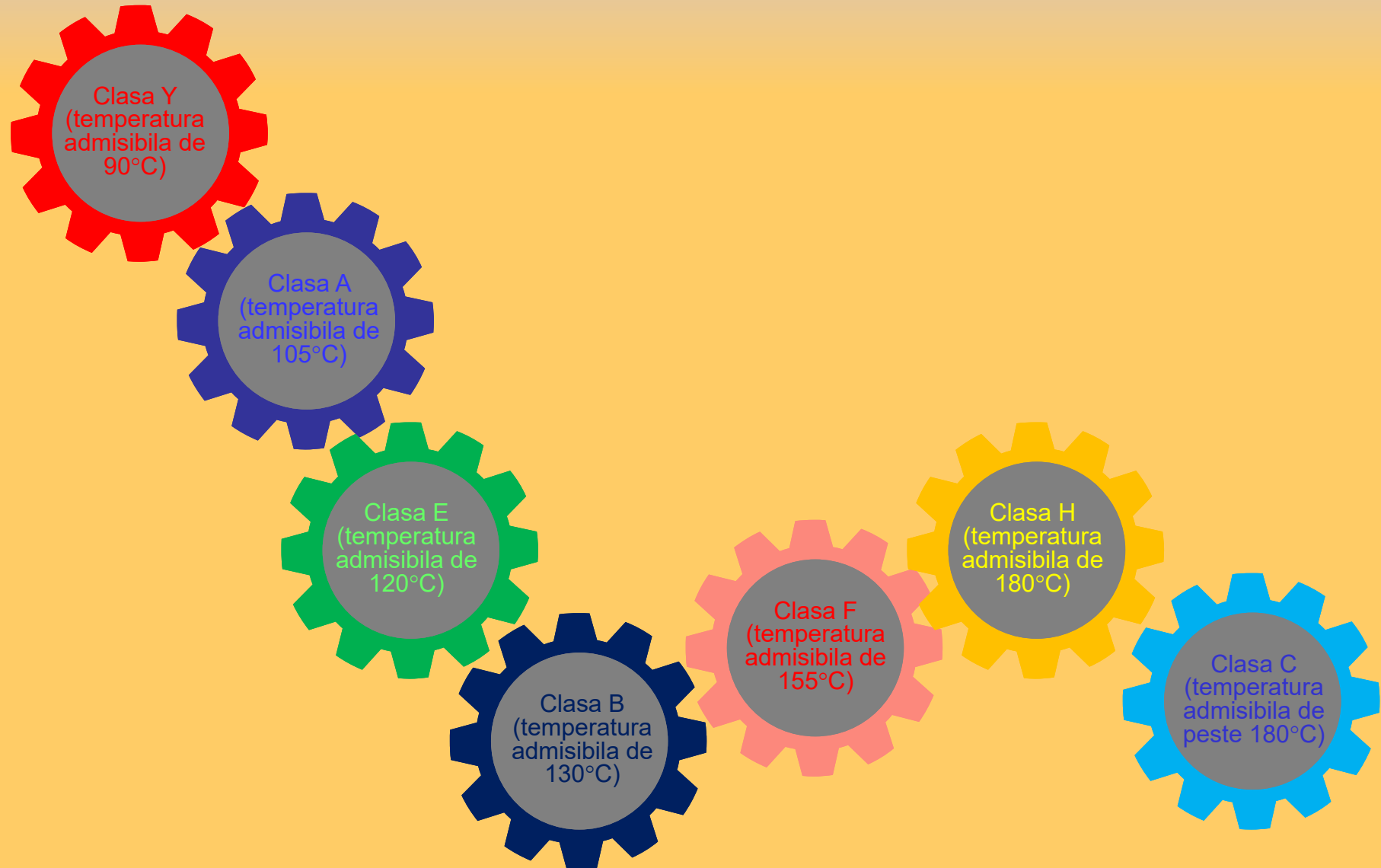
Stabilitate chimica

CLASIFICARE

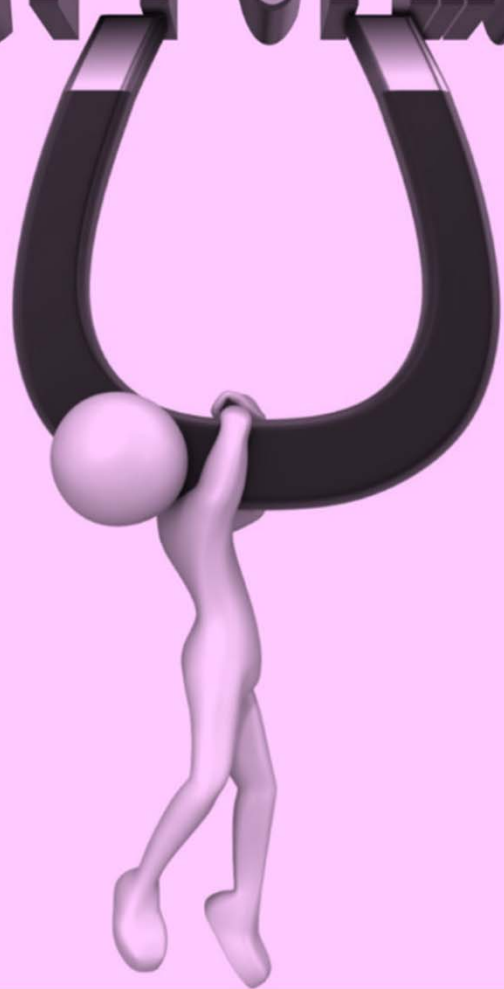


- Șelac; lemn; mica; asbest; cauciuc.
- Bumbac; fibre poliesterice; hârtie; prespan; textolit; sticlotextolit; pertinax; fire de sticla; email; lacuri, ulei de transformator; ceramica; porțelan.

CLASE DE IZOLAȚIE - conform criteriului termic -

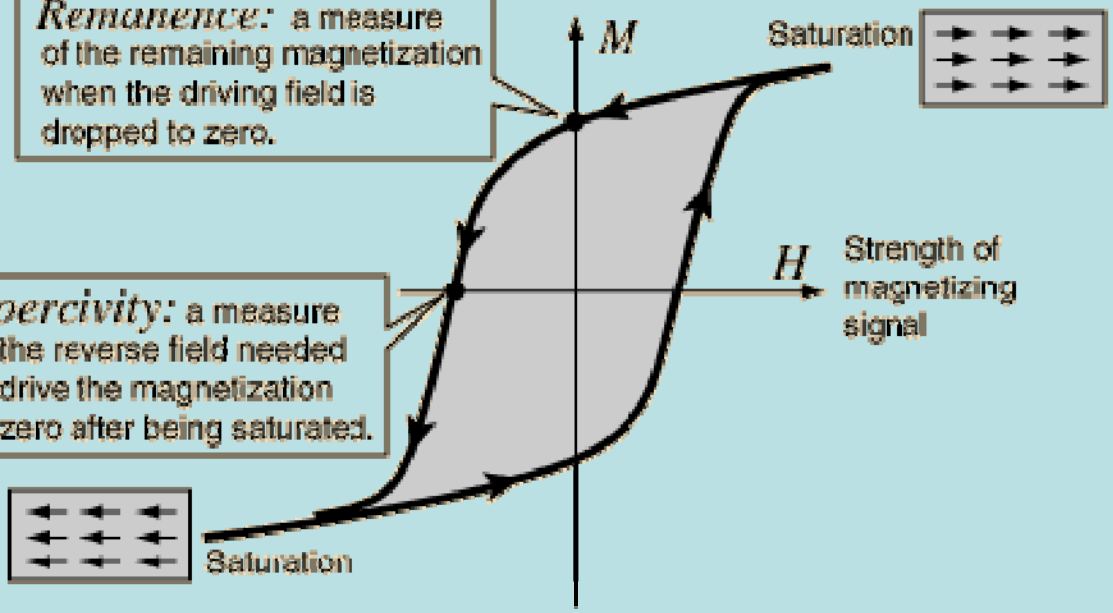


Magneti Permanenti



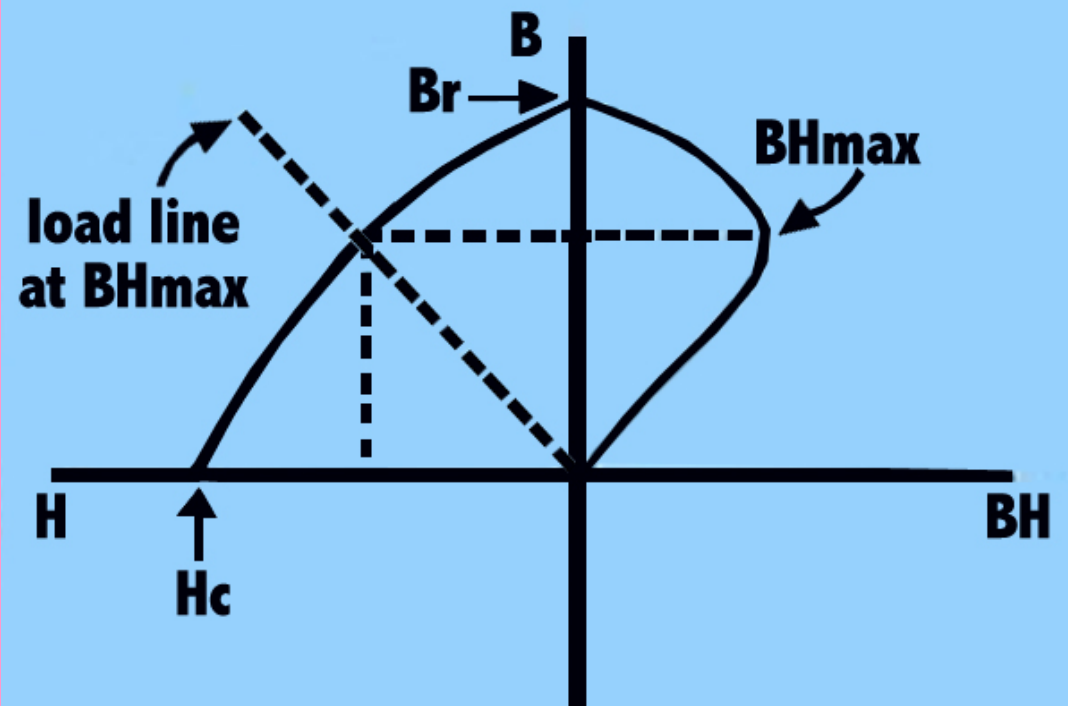
Remanence: a measure of the remaining magnetization when the driving field is dropped to zero.

Coercivity: a measure of the reverse field needed to drive the magnetization to zero after being saturated.



Caracteristica de magnetizare

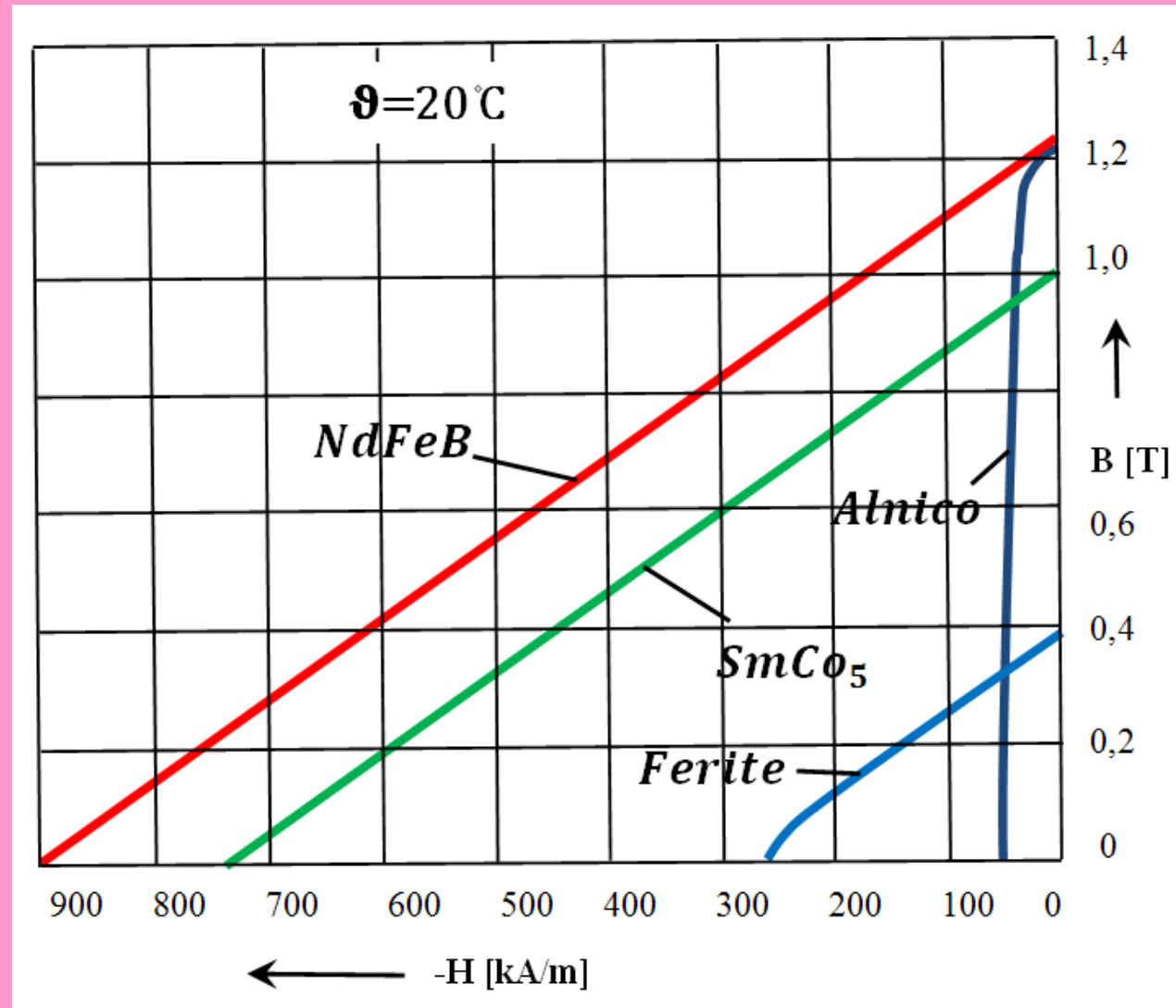
Zona de functionare si caracteristica energiei magnetice la magneti permanenti

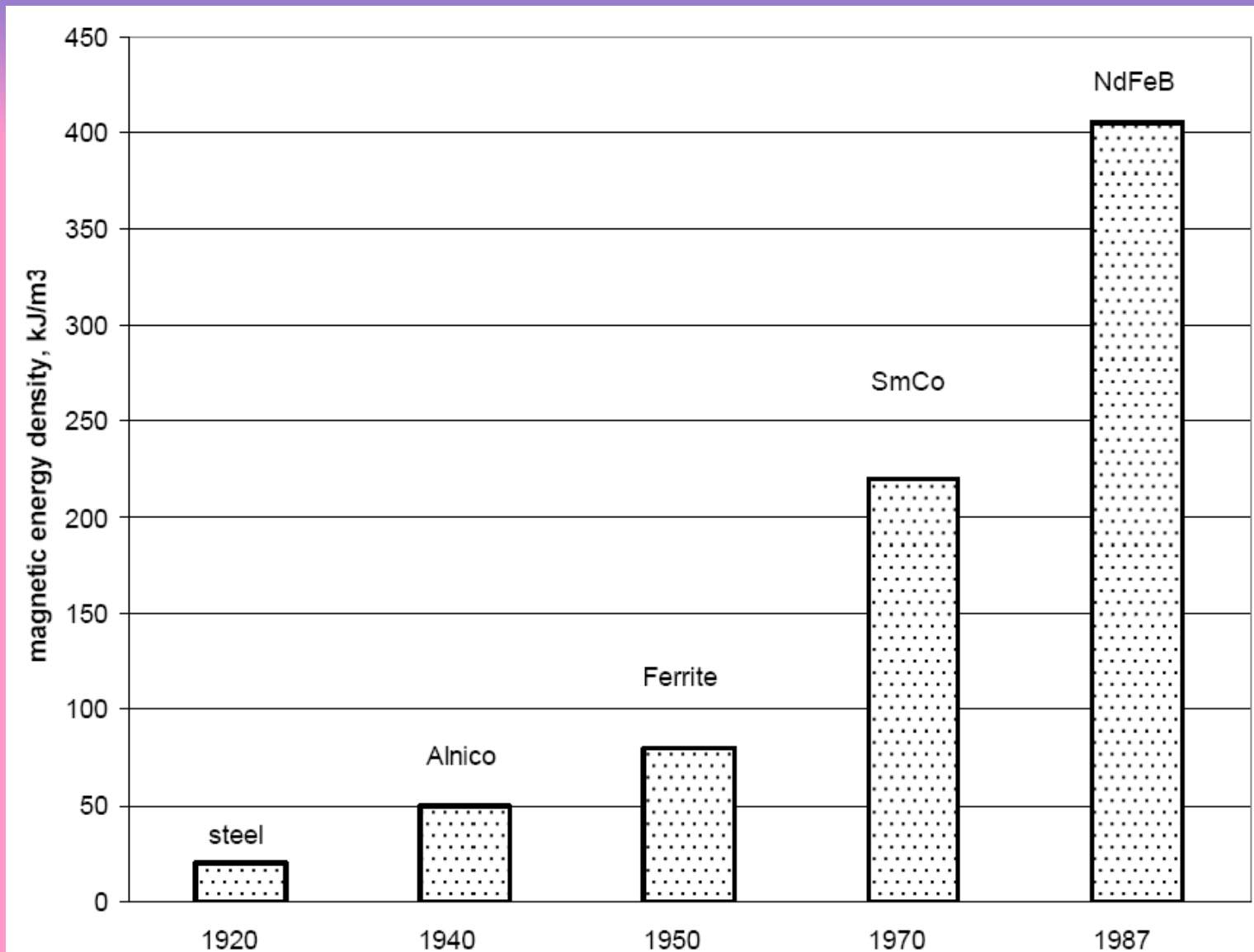


1. Ferite

2. Magneți metalici (Alnico)

3. Magneți pe baza de pământuri rare





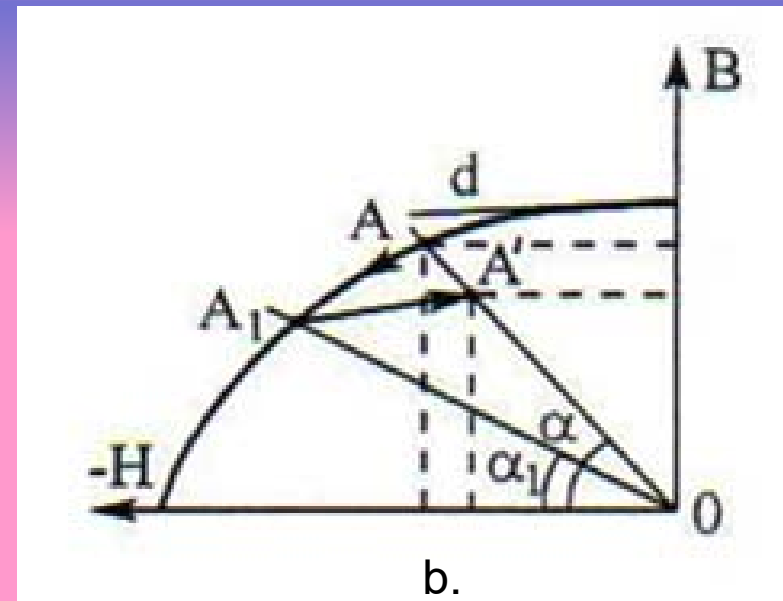
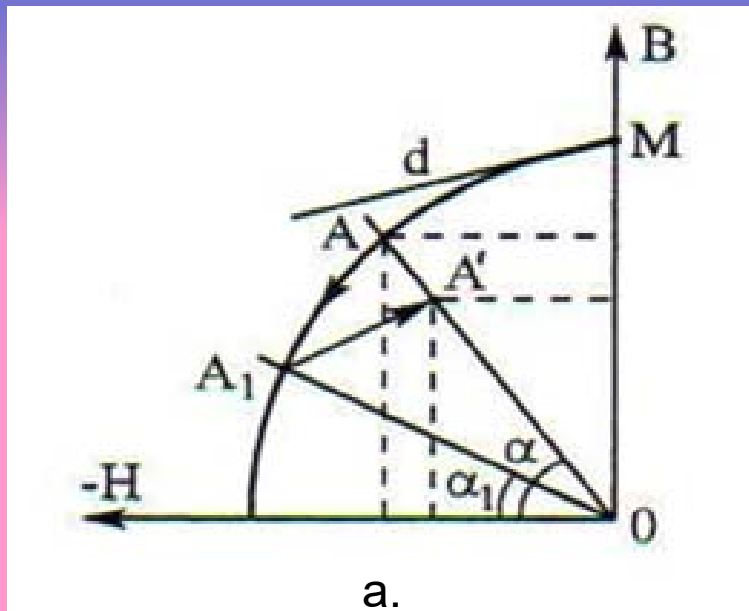
Clasa magnetului	Proprietăți magnetice			
	Energie maximă produsă (BH) _{max} (kJ/ m ³)	Inducție remanentă maximă B _{rmax} (T)	Câmp coercitiv maxim H _{cmax} (kA/m)	Temperatura Curie T _c (° C)
Nd ₂ Fe ₁₄ B (sinterizat)	200-440	1-1,4	750-2000	310-400
Nd ₂ Fe ₁₄ B (compozit)	60-100	0,6-0,7	600-1200	310-400
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) rezulta 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).



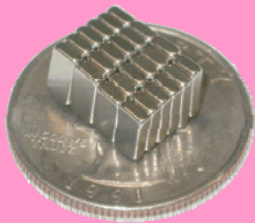
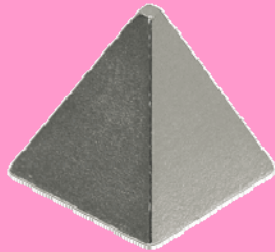
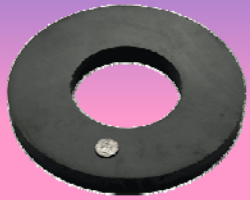
Punctul de funcționare al unui magnet permanent introdus într-o structura feromagnetică (de ex. mașină electrică) se afla pe curba de demagnetizare și este notat cu A.

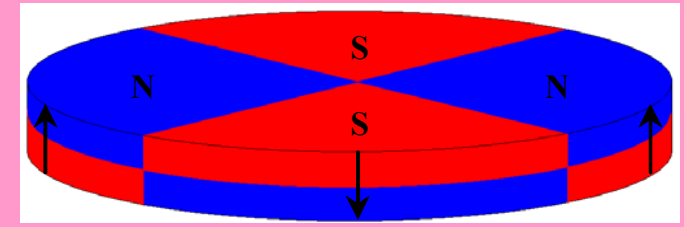
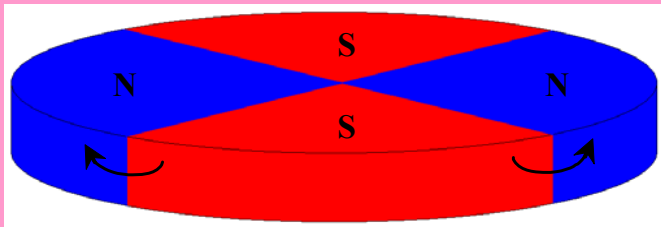
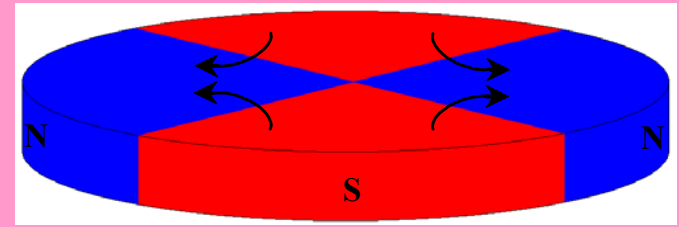
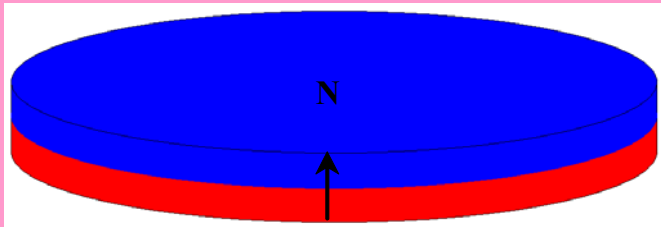
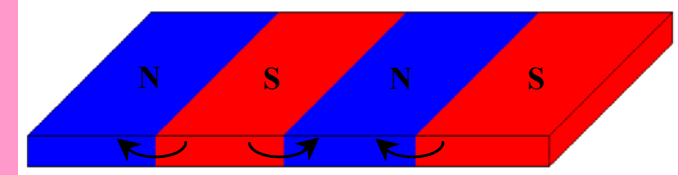
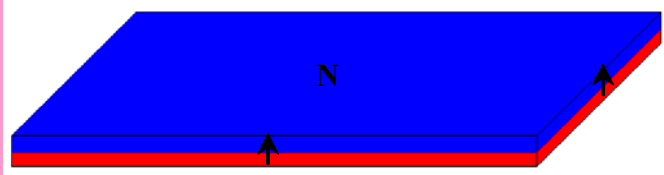
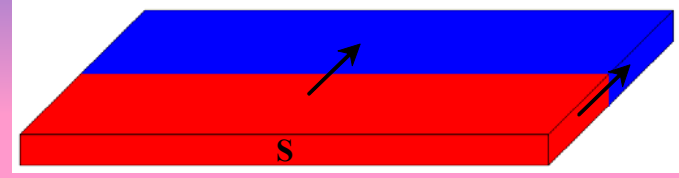
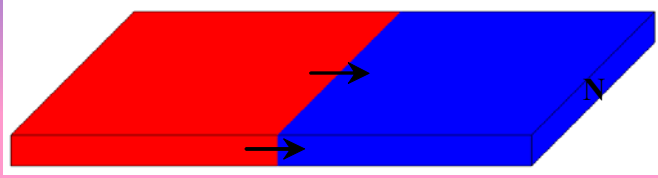
Ori de câte ori structura circuitului magnetic se modifică (de ex. desfacerea mașinii și scoaterea rotorului pentru reparații) magnetul permanent se demagnetizează iar punctul său de funcționare se deplasează în punctul A_1 . La refacerea circuitului magnetic, magnetul se remagnetizează dar punctul de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

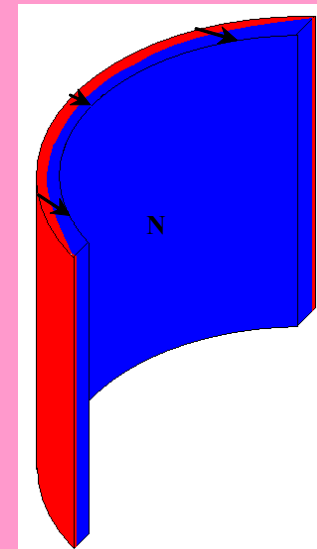
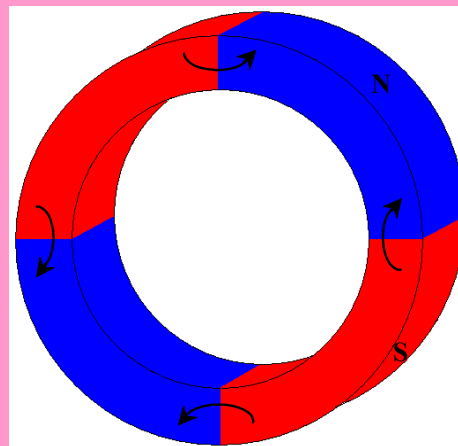
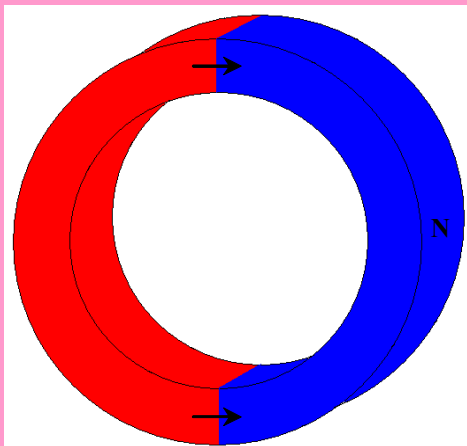
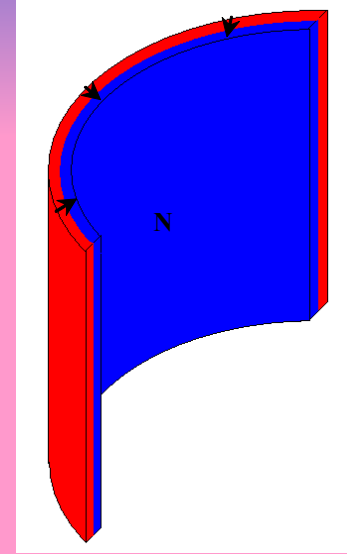
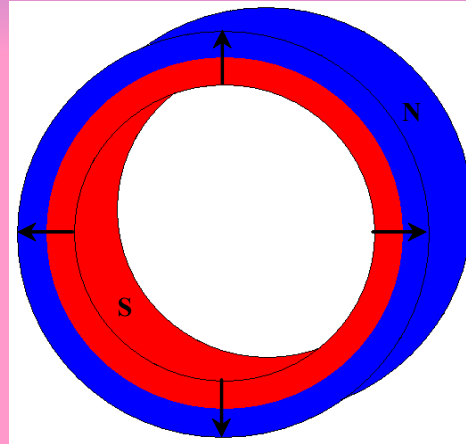
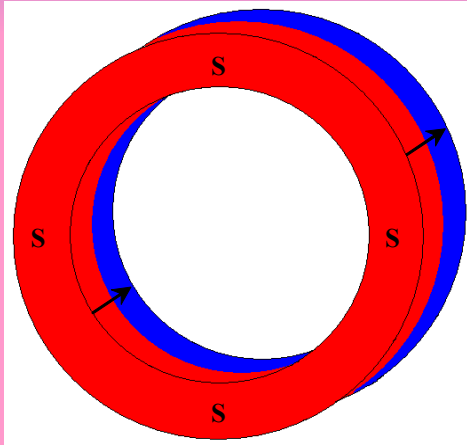
În cazul materialelor cu H_c mic (magneți metalici tip AlNiCo), energia magnetică în punctul A' este semnificativ mai mică decât în punctul A (figura a). De cele mai multe ori mașina electrică nu mai poate funcționa și este necesară o remagnetizare a magnetului permanent. Dacă magnetul permanent are 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:

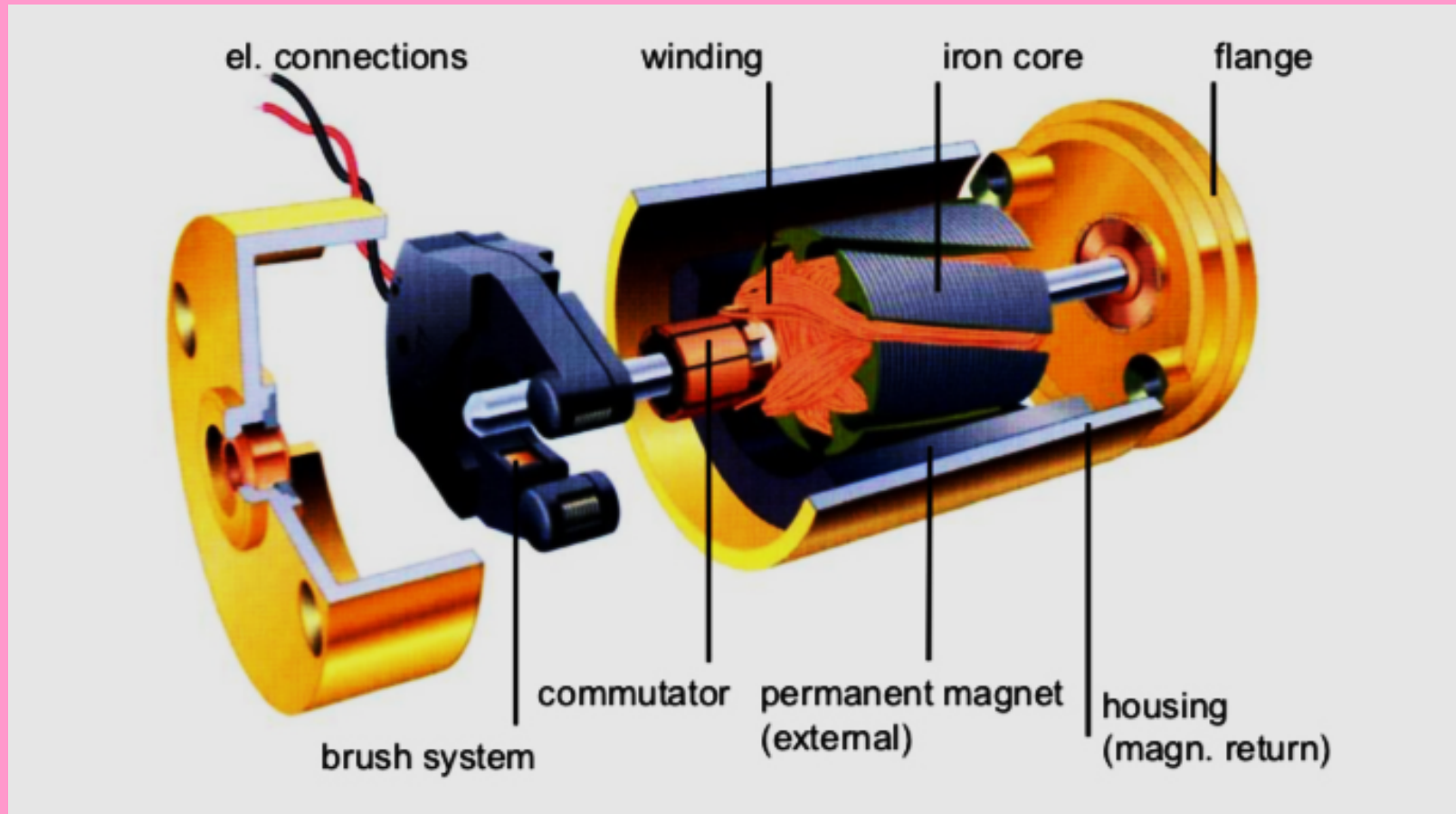
- stabilitate de lungă durată a caracteristicilor magnetice;
- rezistența la șocuri și acțiunea agenților chimici;
- rezistivitate electrică mare;
- modificările fluxului magnetic inductor generate de supracurenții care apar în funcționarea mașinii să fie reversibile;
- temperatura maximă de funcționare a magneților să fie mai mare decât temperatura corespunzătoare circuitului magnetic al mașinii;



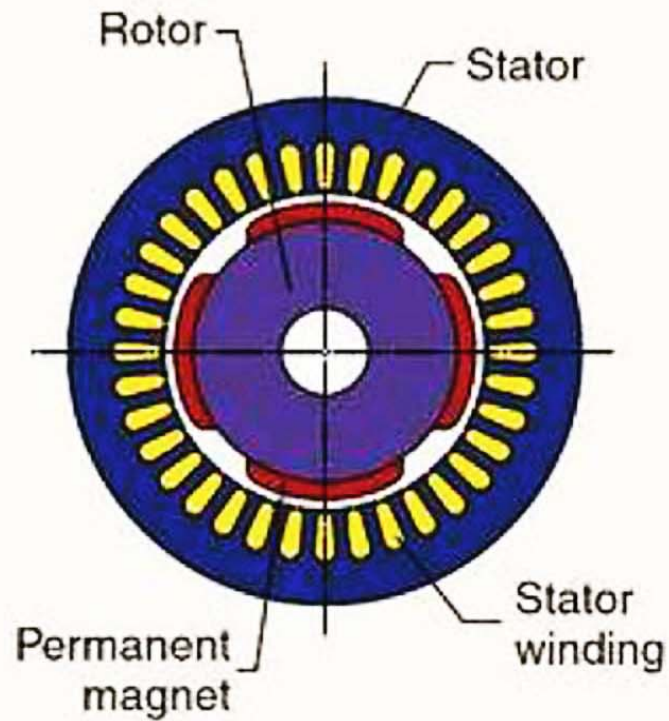




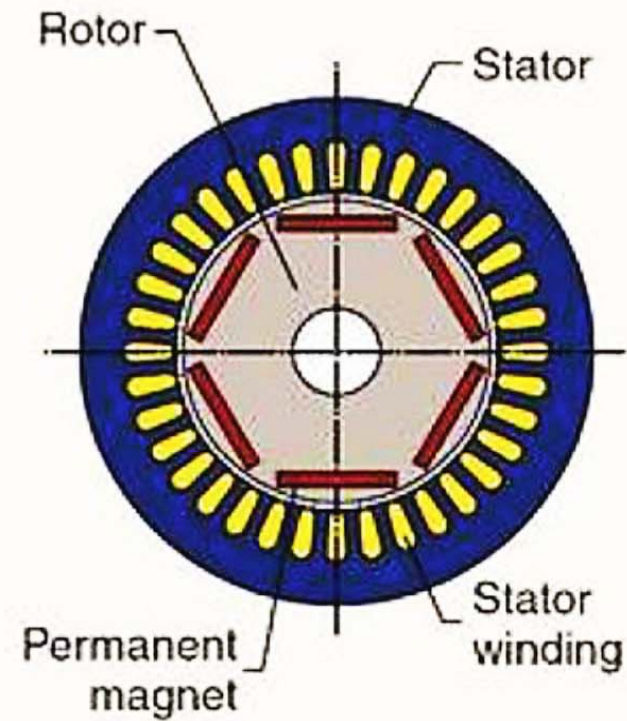
DC machine with permanent magnet excitation



Permanent magnet synchronous machine

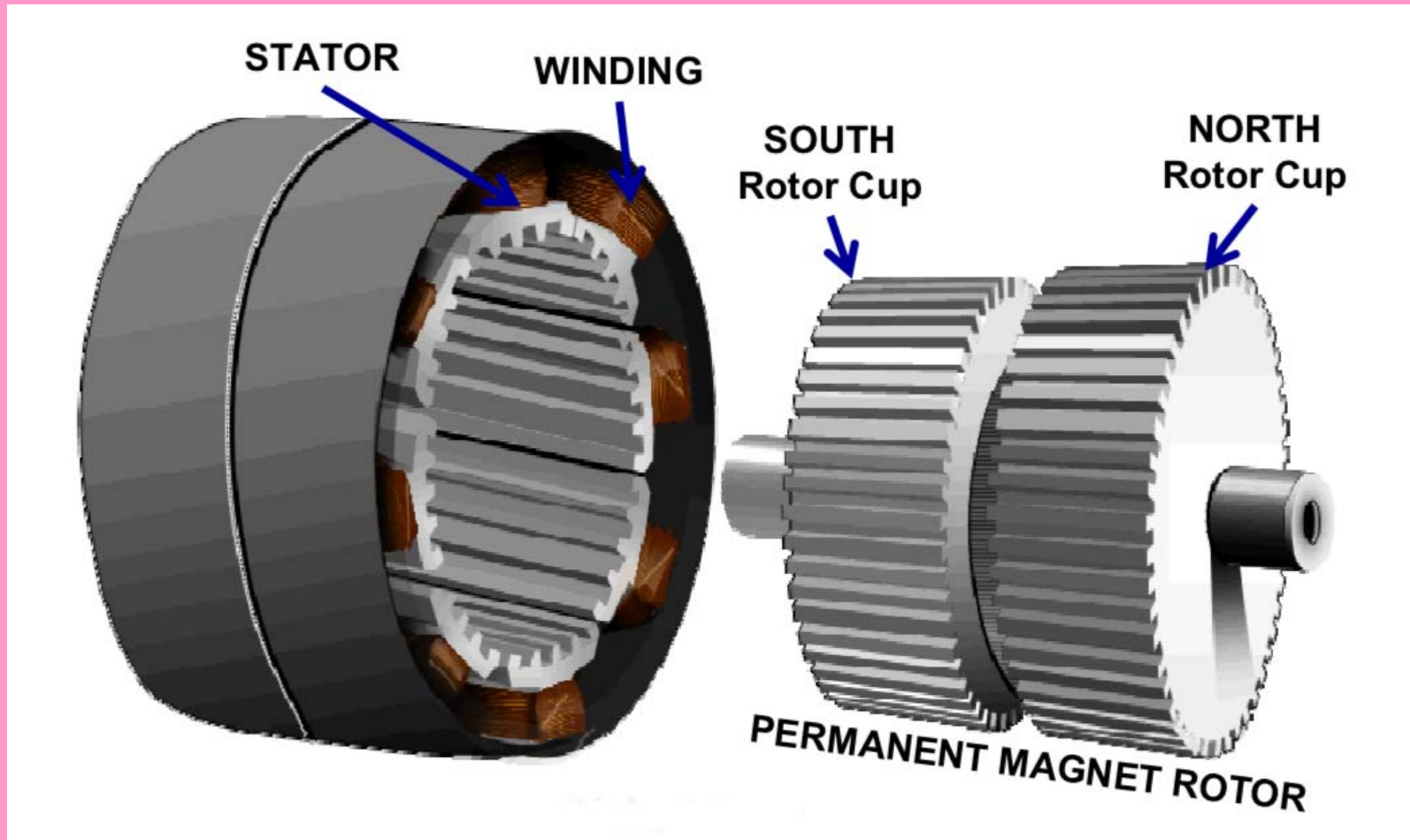


Surface mounted permanent magnet motor (SPM).

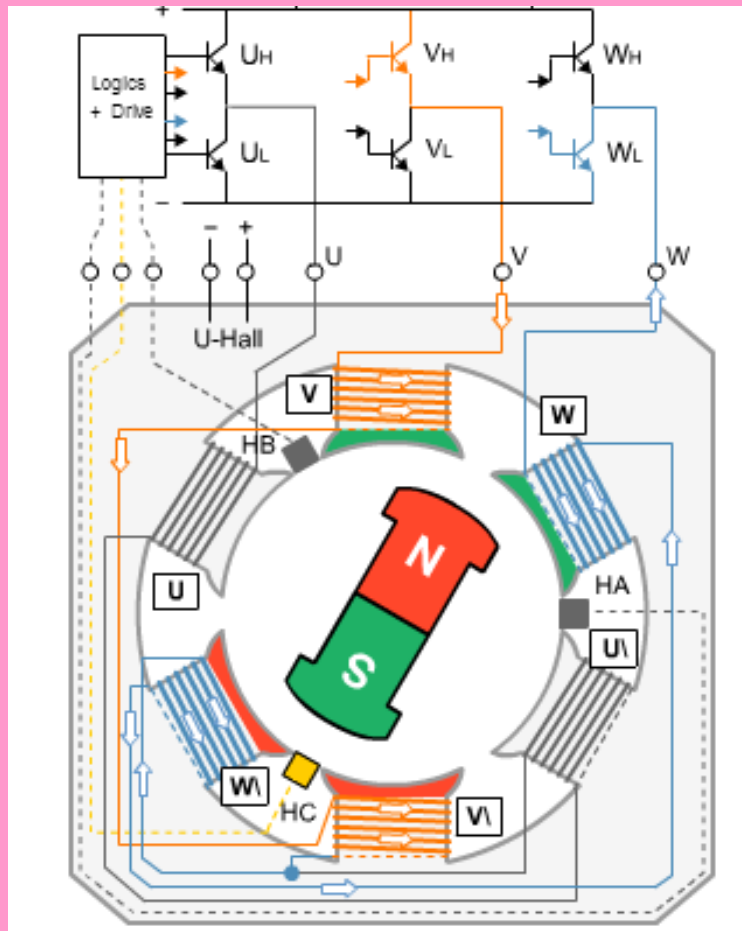


Interior permanent magnet motor (IPM).

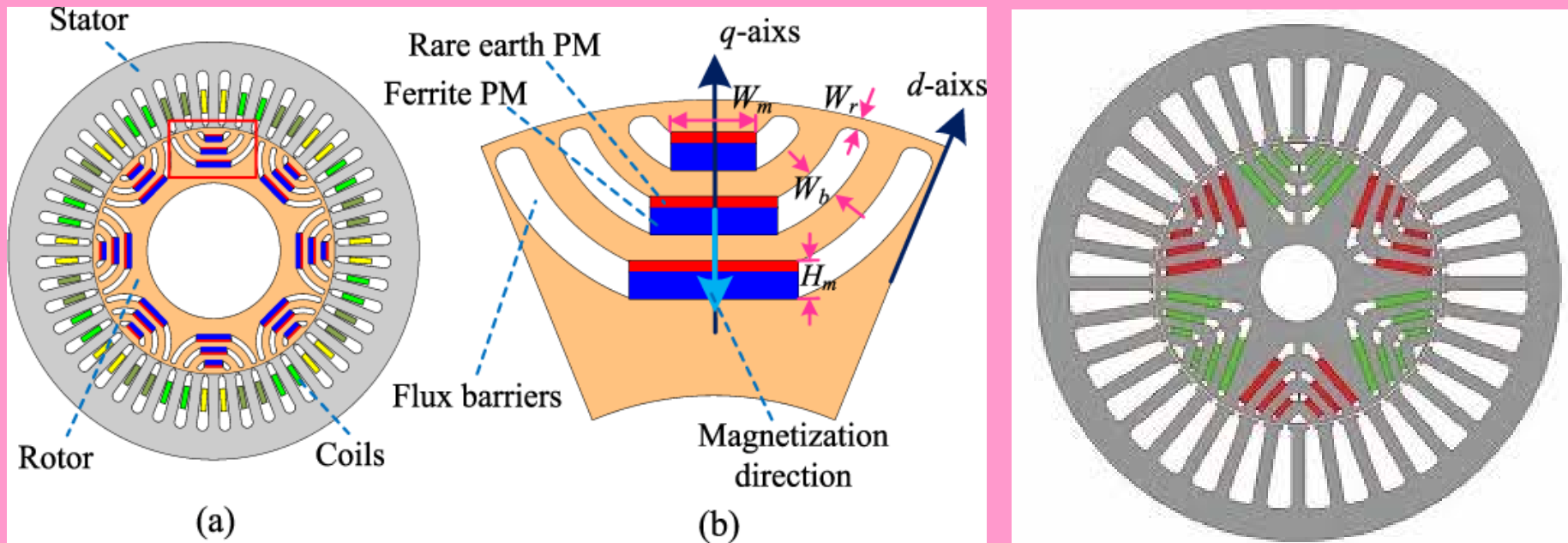
Permanent magnet stepper motor



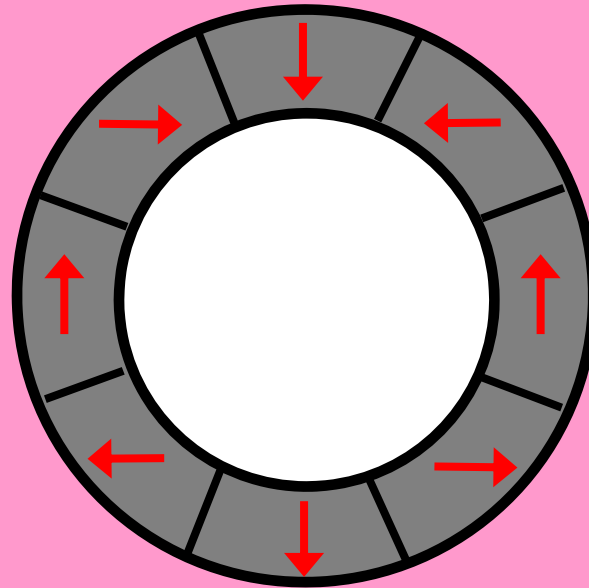
Brushless DC Motor



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.

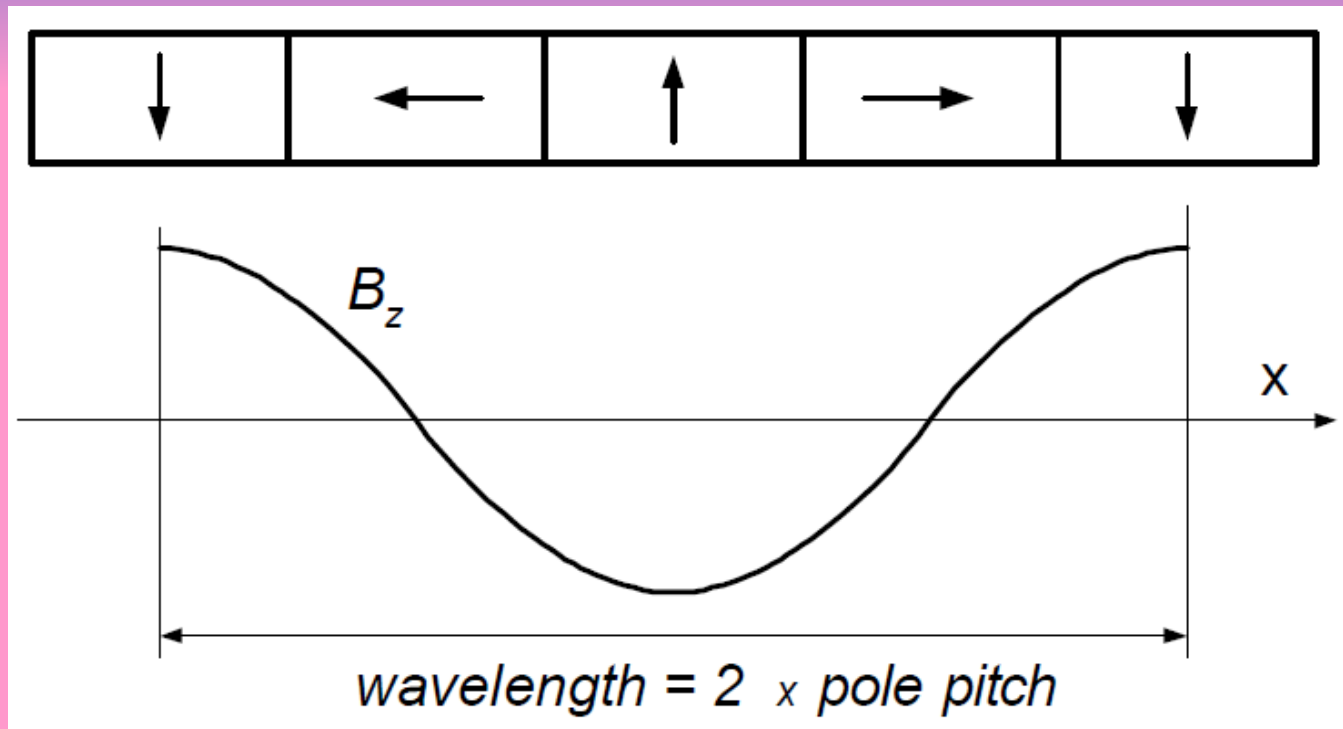


Fig. 2

Pentru structura din fig.2, campul creat are o variatie cosinusoidala.

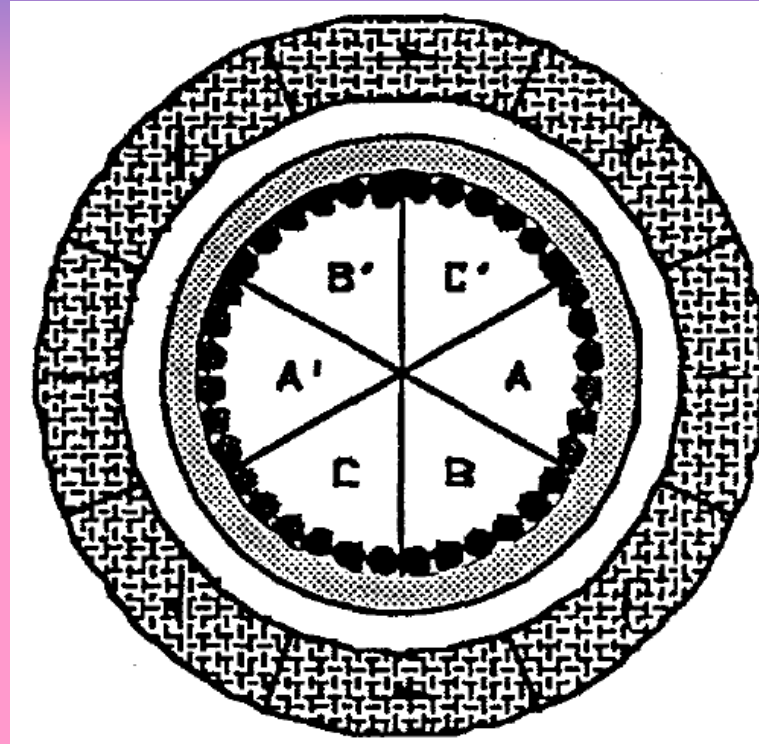


Fig. 5

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.

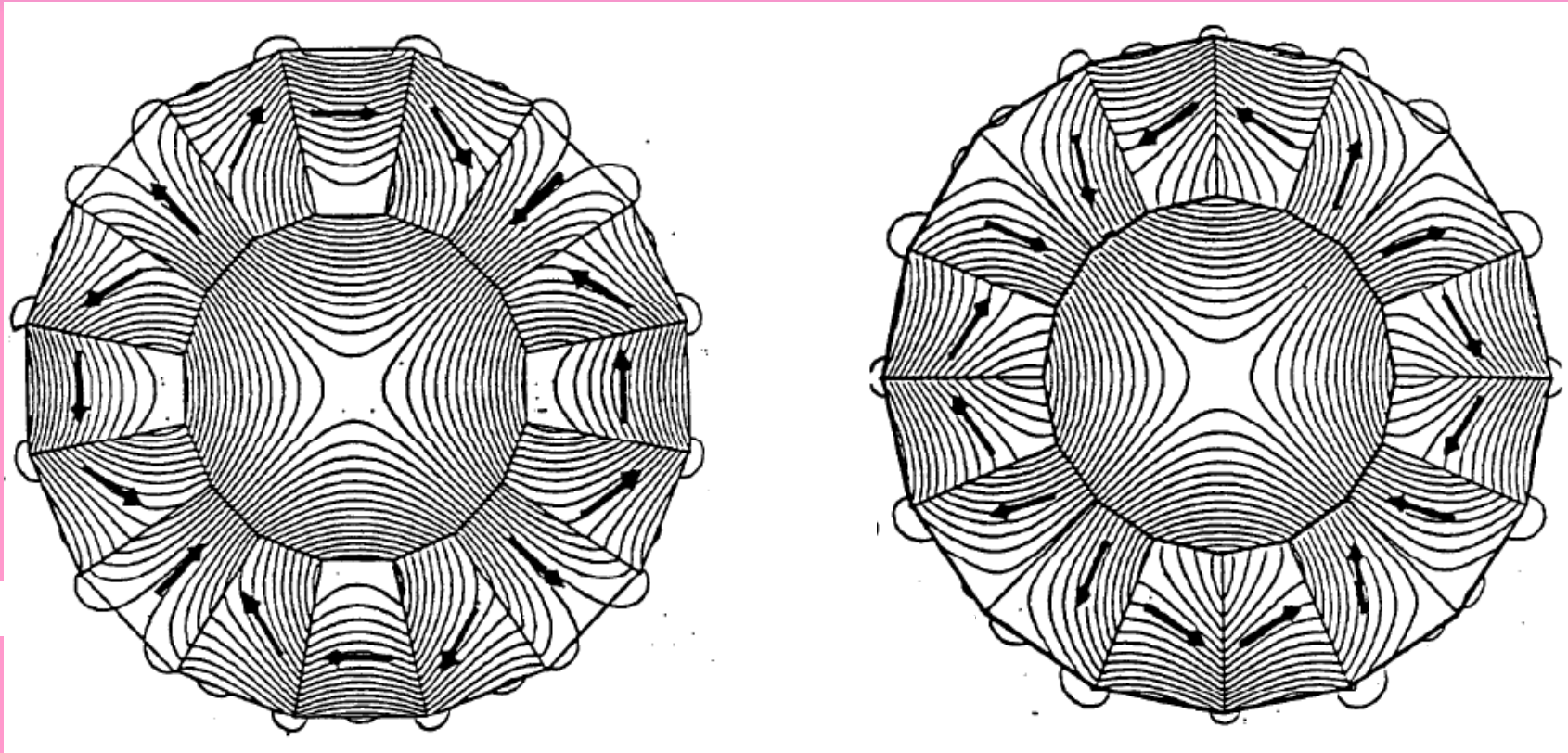
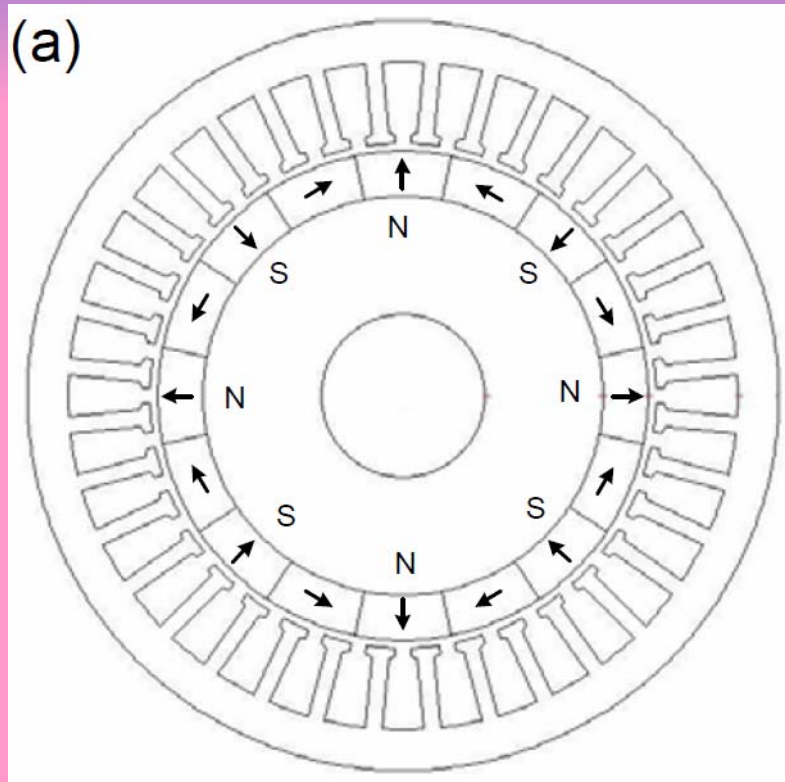
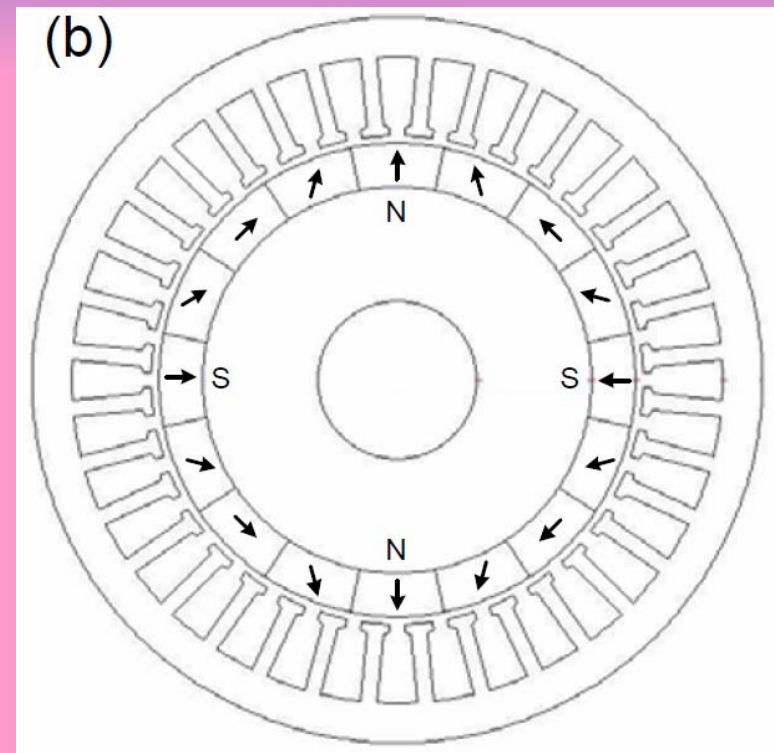


Fig.6 Structuri Halbach cu 4 poli ce folosesc magnti permanenti de tipul $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$



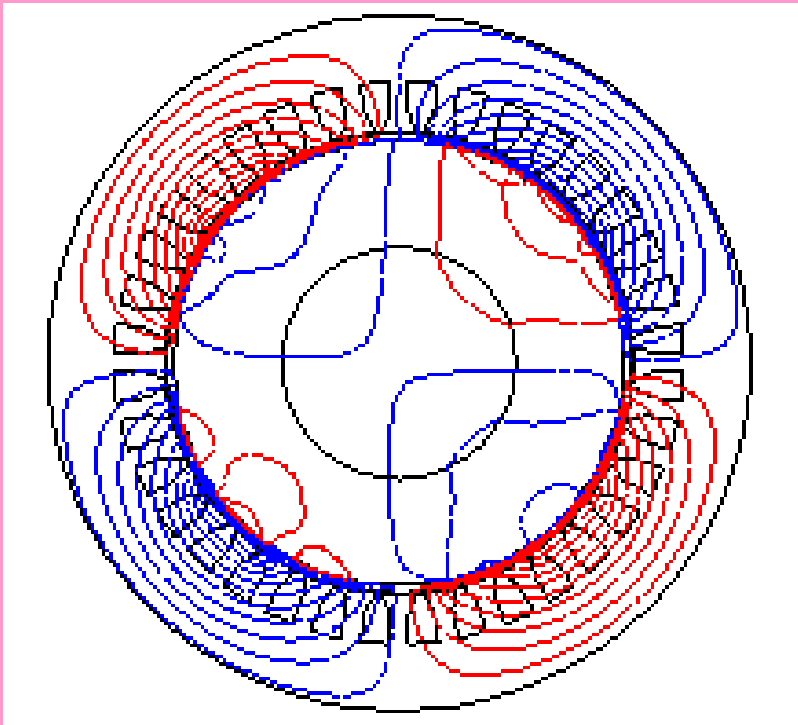
8-pole rotor with 90° Halbach array



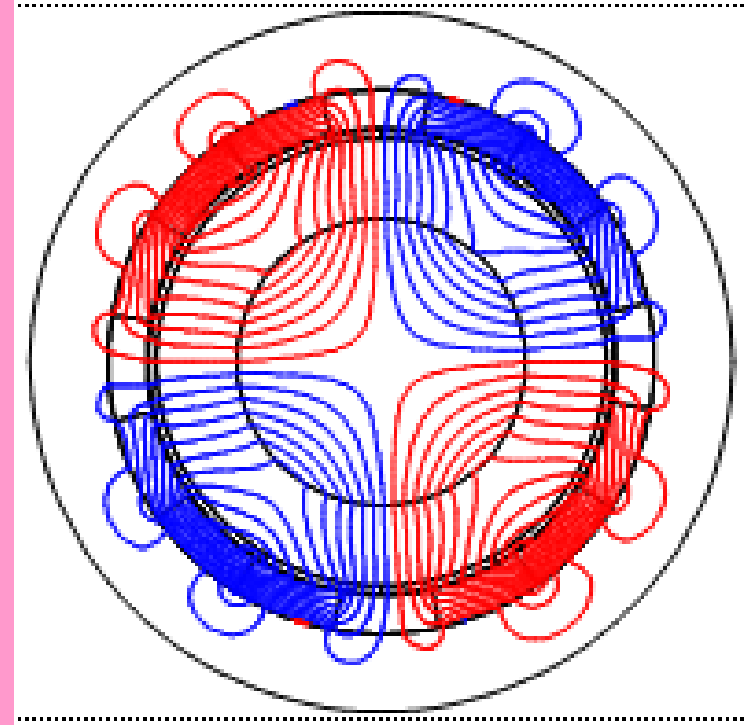
4-pole rotor with 45° Halbach array

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

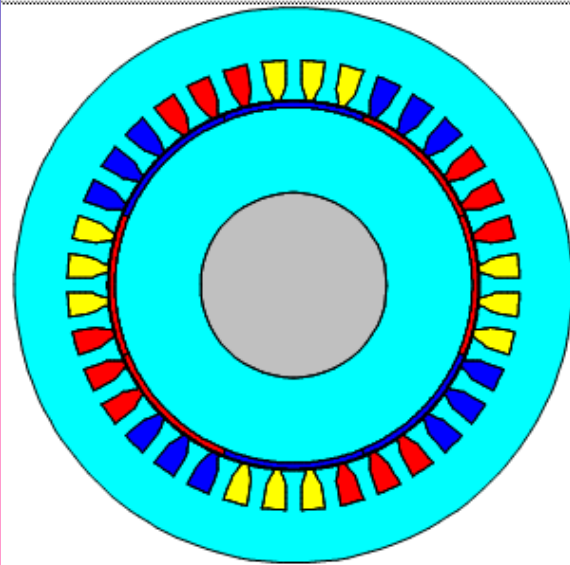
Flux lines distribution



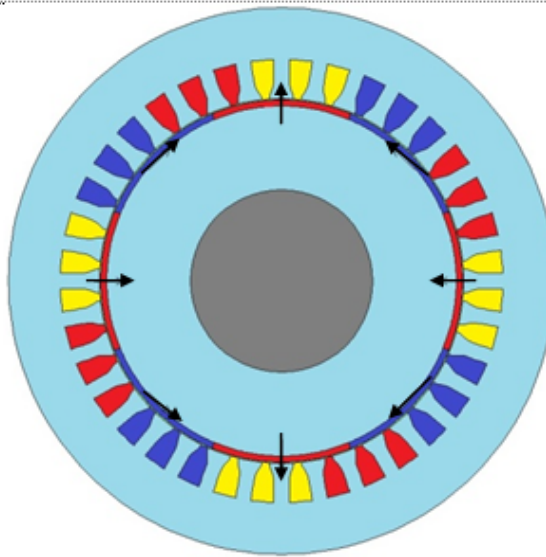
a. Inner rotor



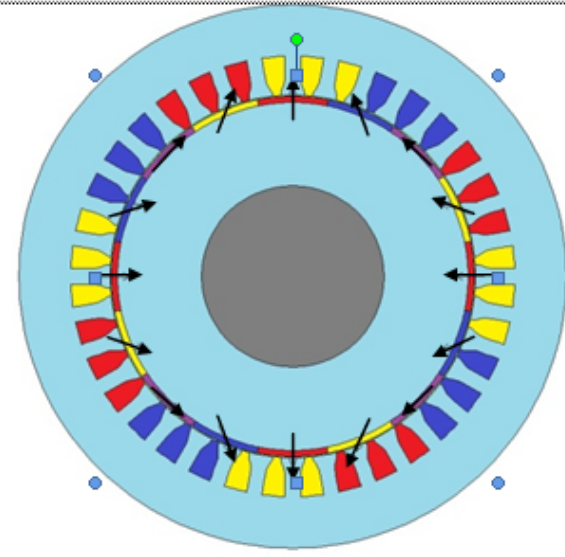
b. outer rotor



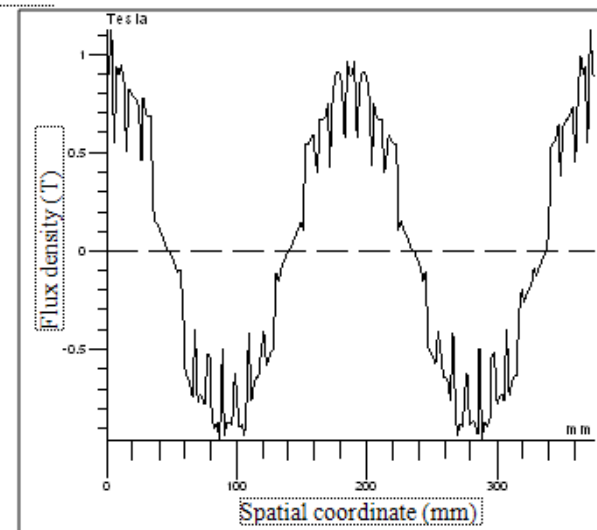
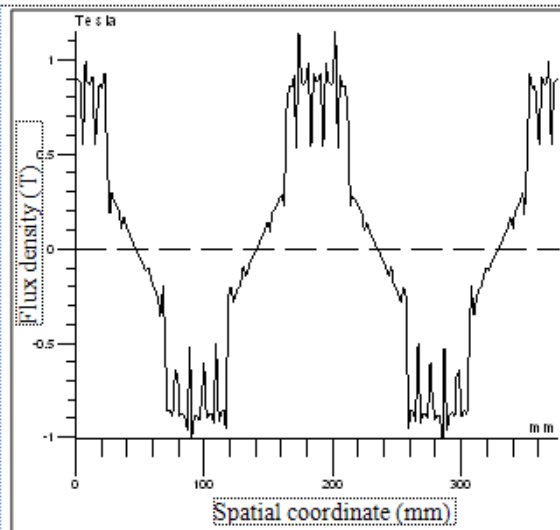
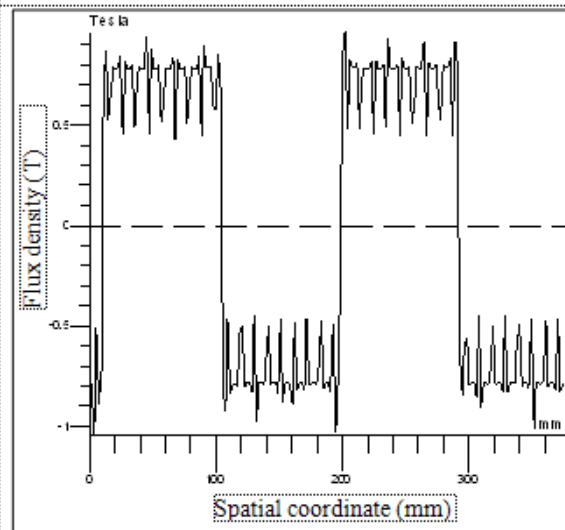
a.



b.



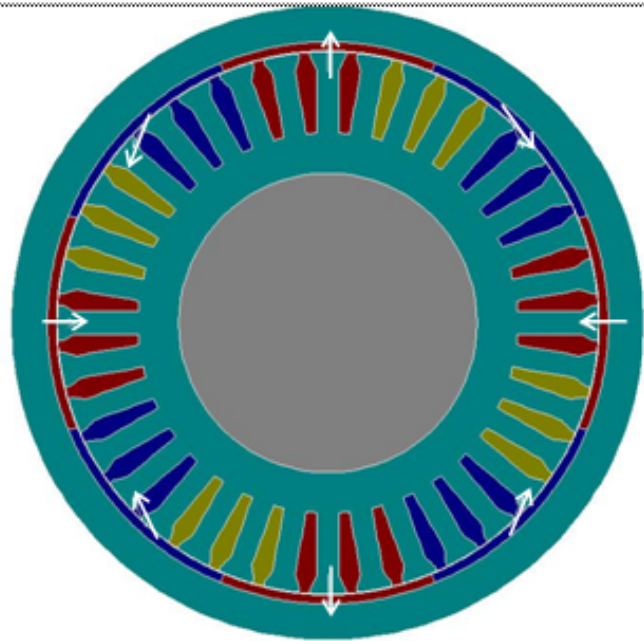
c.



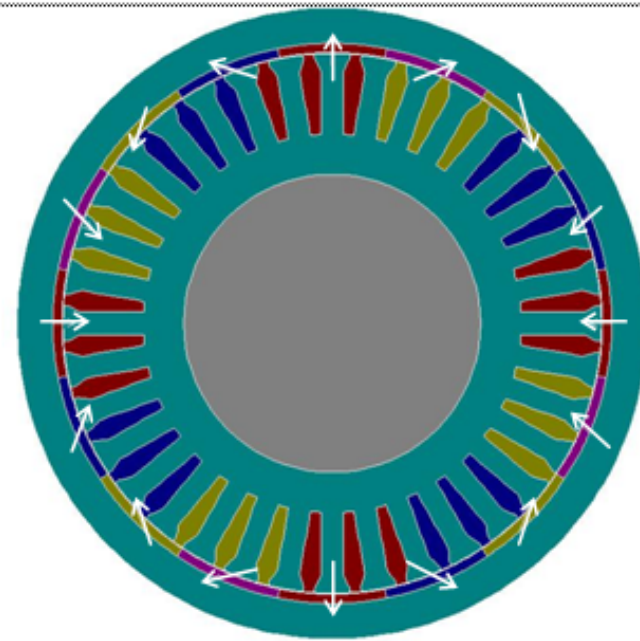
a - Radial magnetization (4 PMs);

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

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



a.



b.

a - 8 PMs
b - 16 PMs



1. Armonica fundamental 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

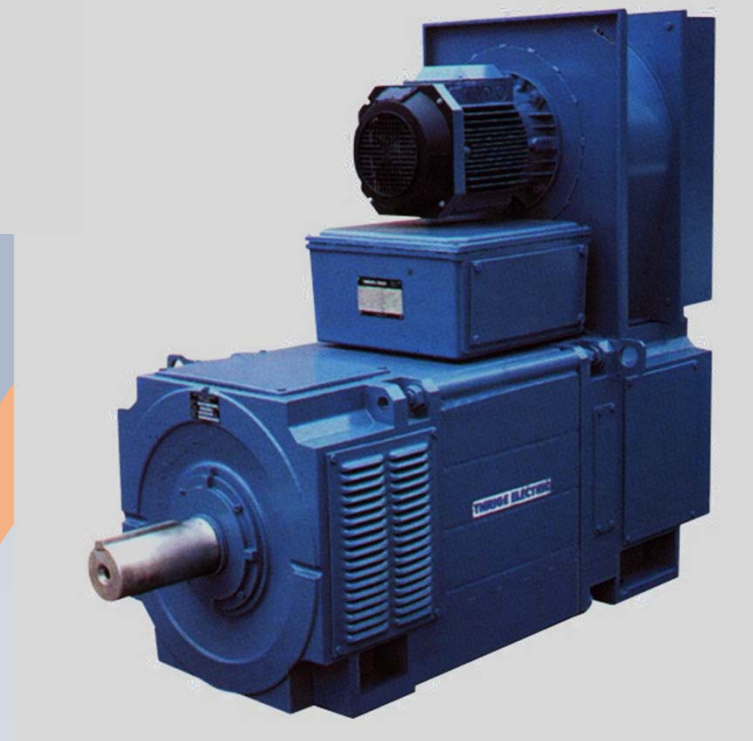
1

Mașini de curent continuu
Elemente și tipuri constructive.

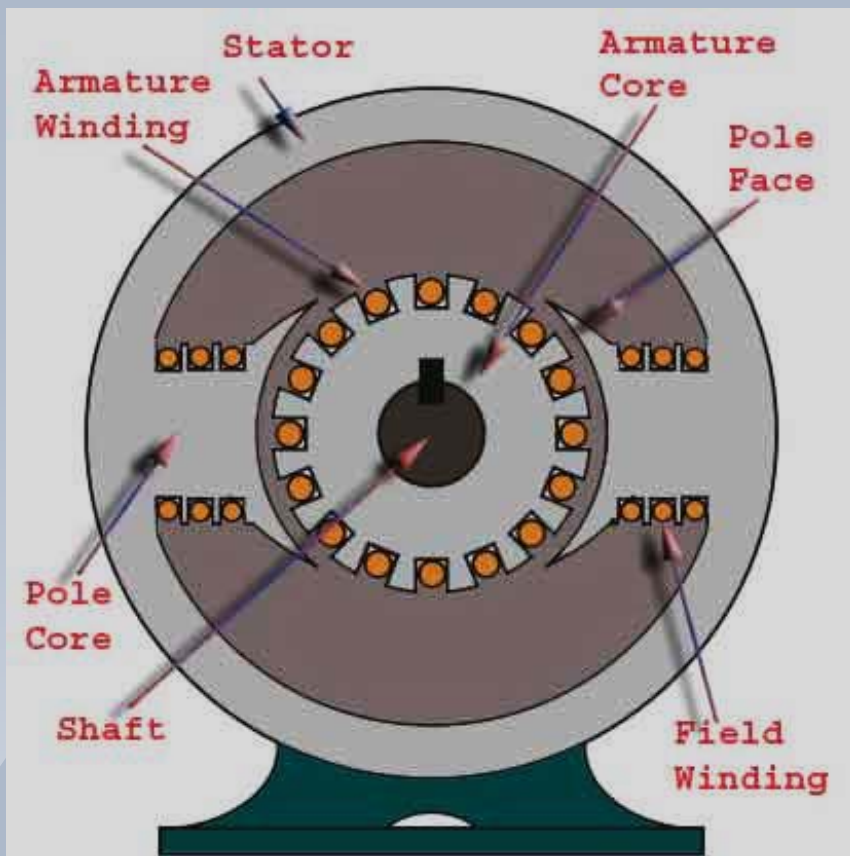




Mașină de c.c. de mică putere



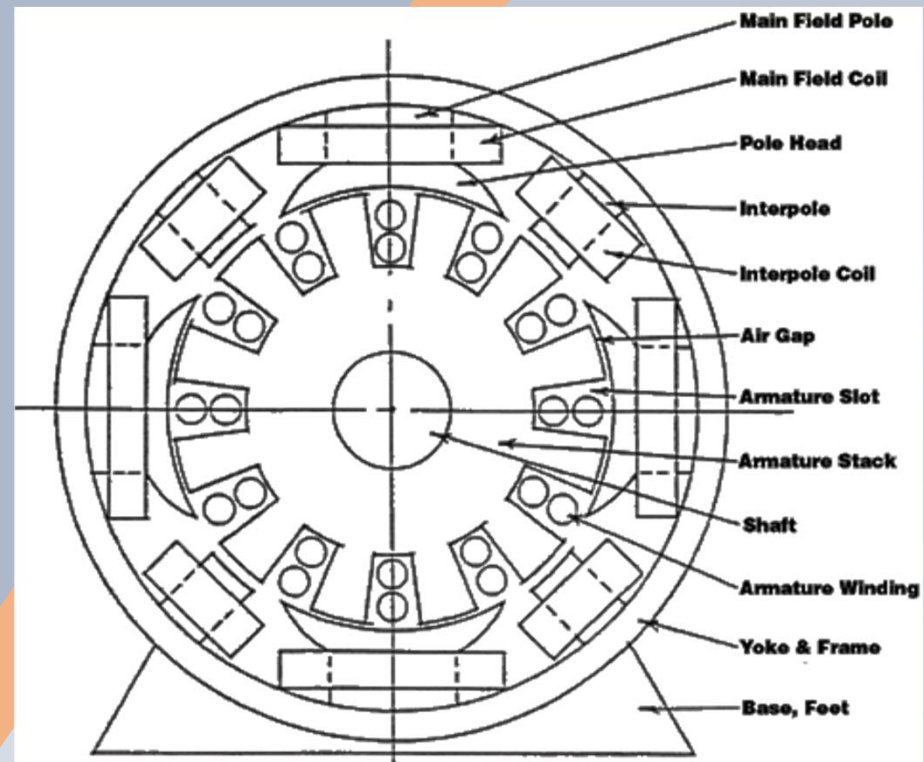
Mașină de c.c. de mare putere cu răcire forțată

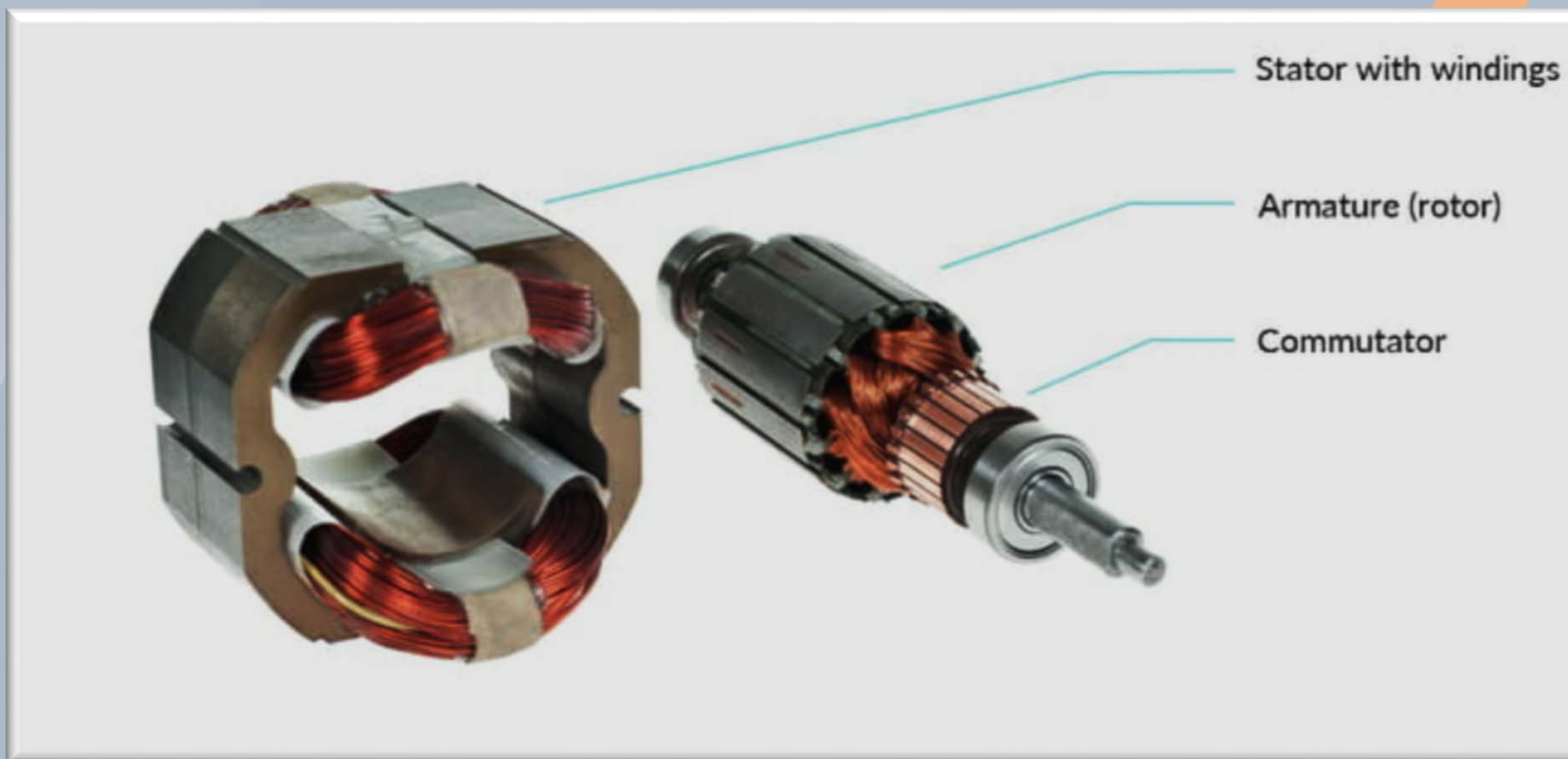


Sectiuni transversale prin masini de c.c.
 a – masina cu poli principali;
 b – masina cu poli principali si auxiliari

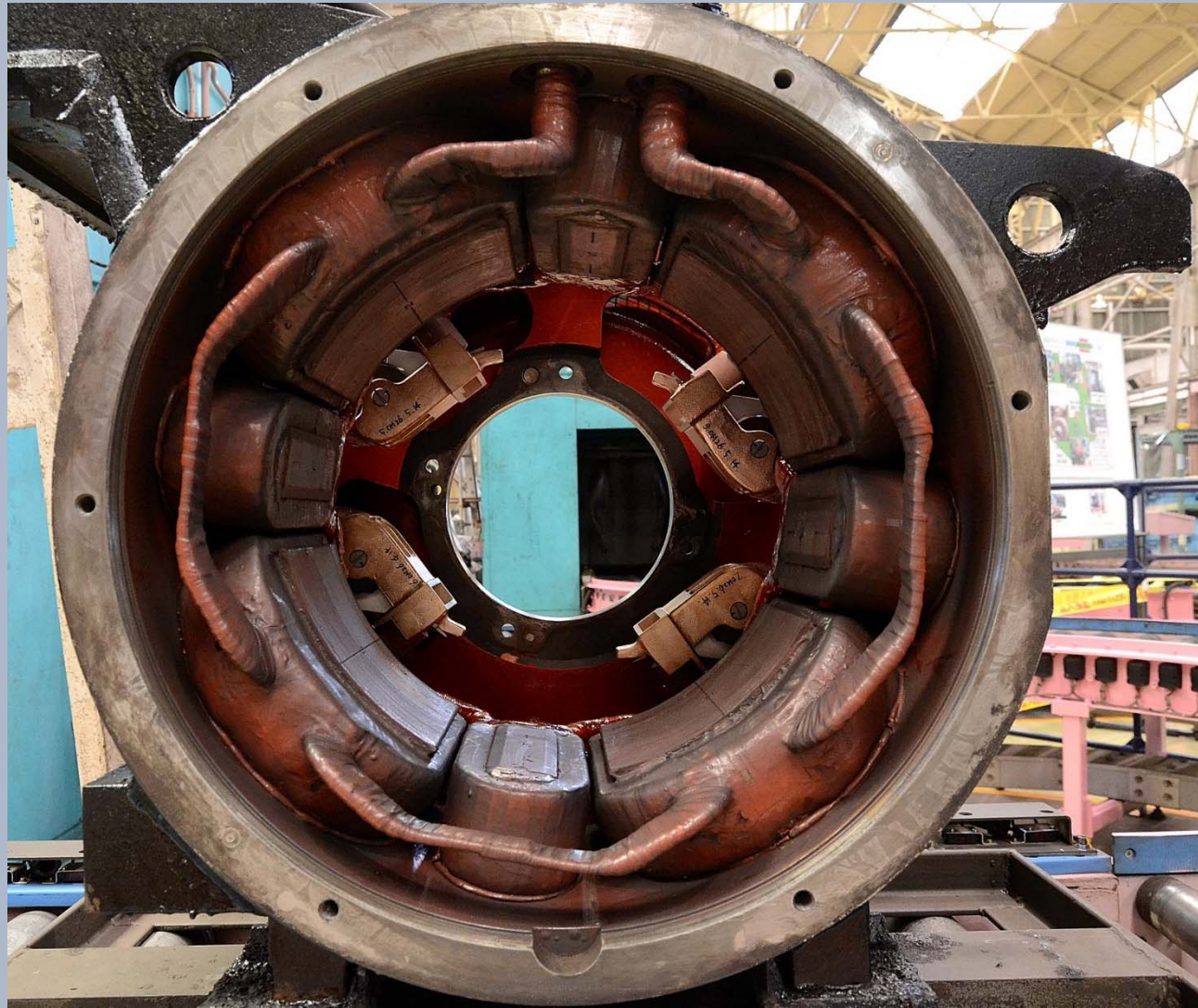


Stator – inductor
 Rotor – indus
 Colector + perii - redresor





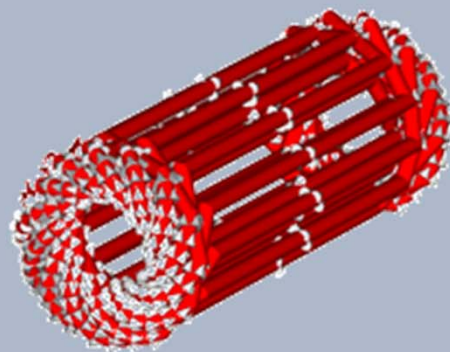
Mașină de c.c. bipolară de mică putere



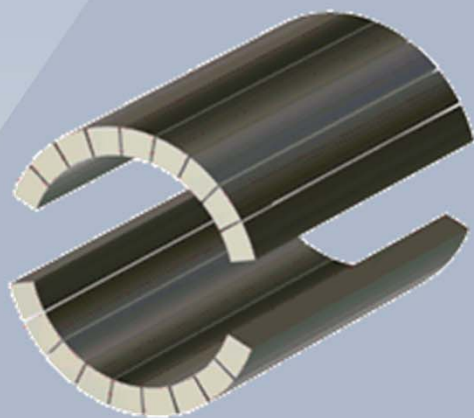
Stator mașină de c.c. cu poli principali si auxiliari



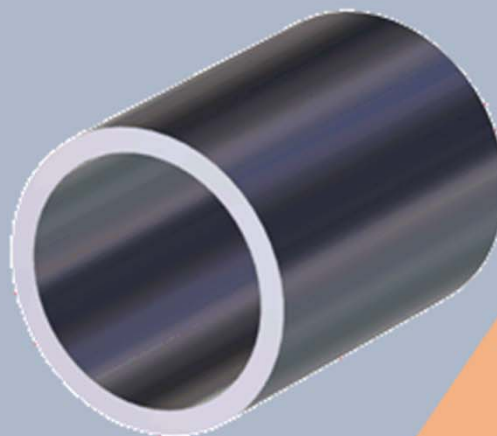
Rotor



Windings



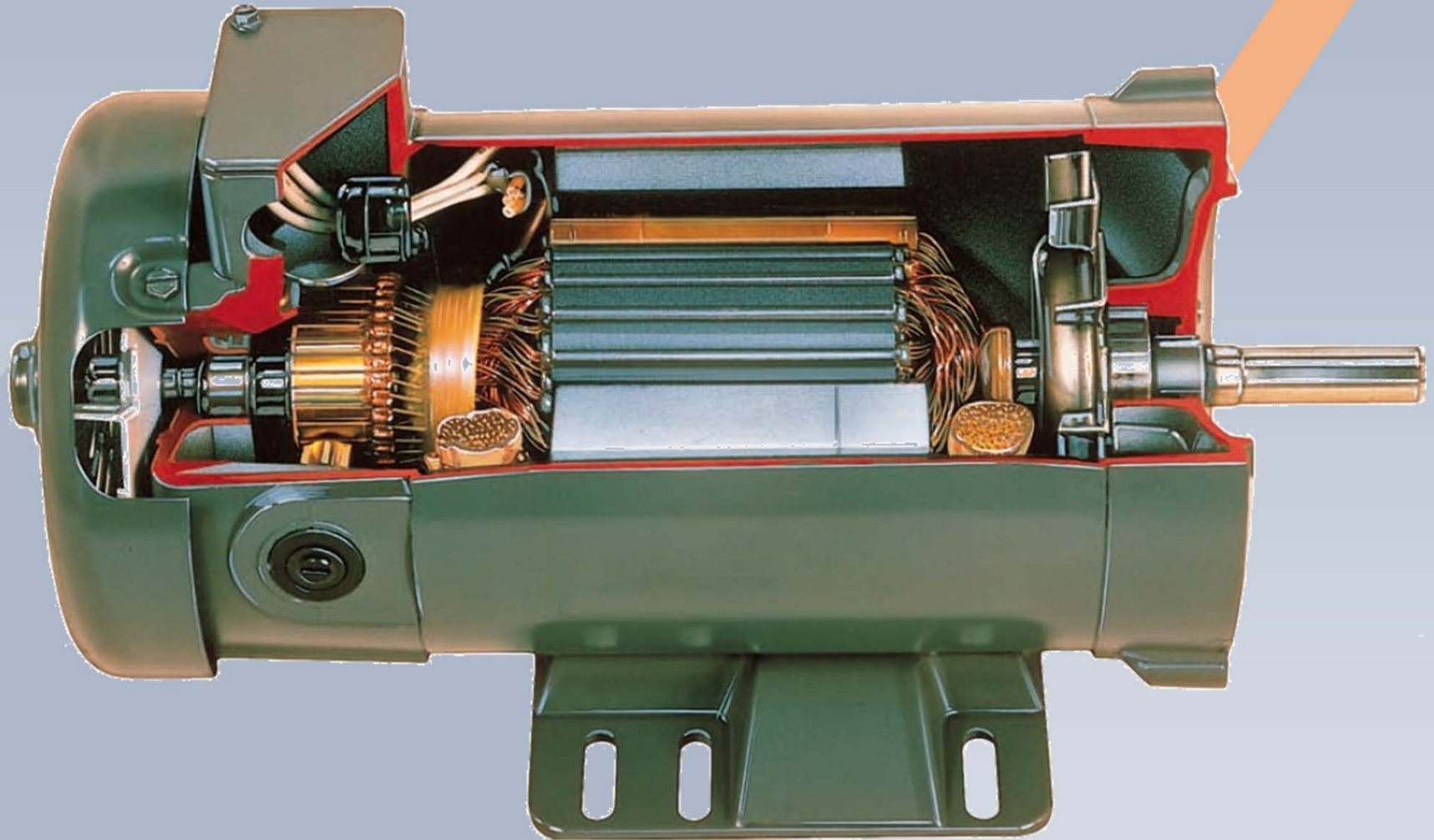
Permanent
Magnets



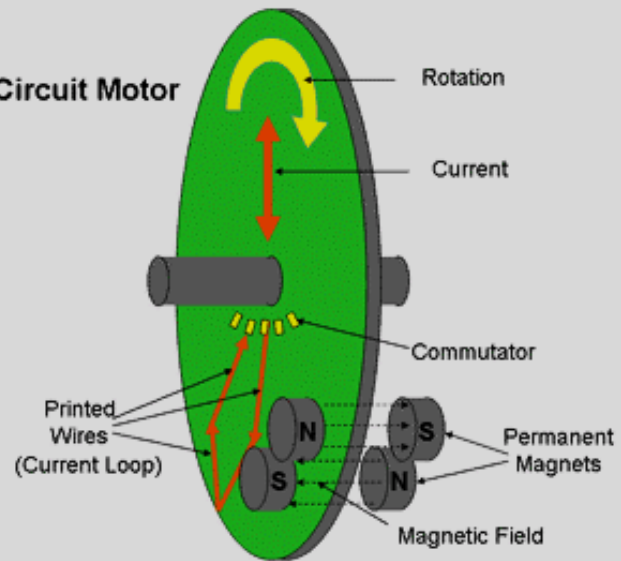
Stator

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

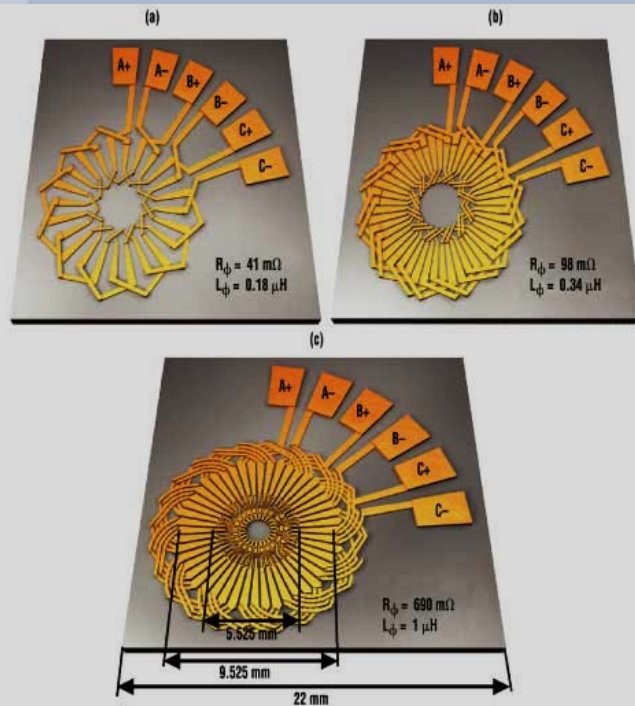
Mașină de c.c. secționată



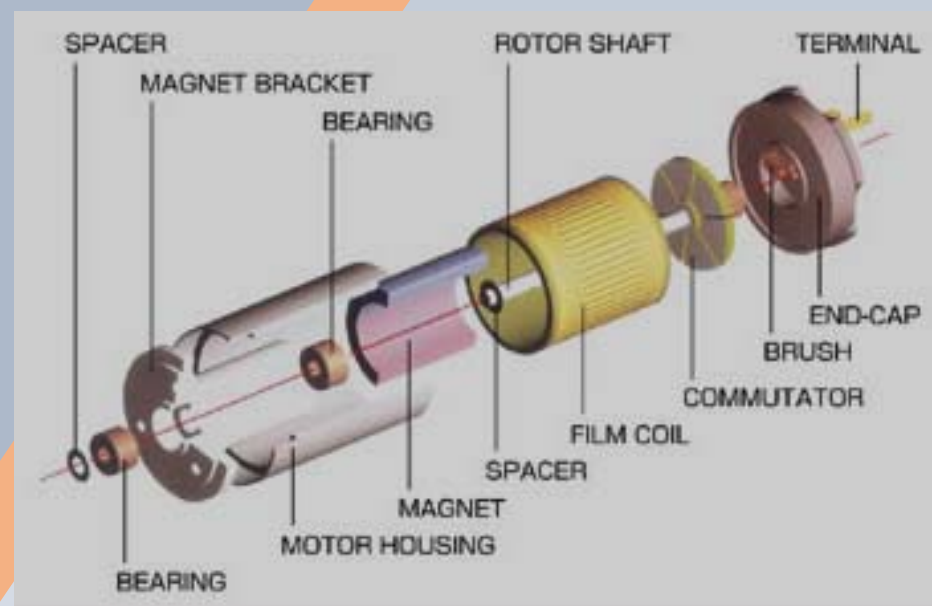
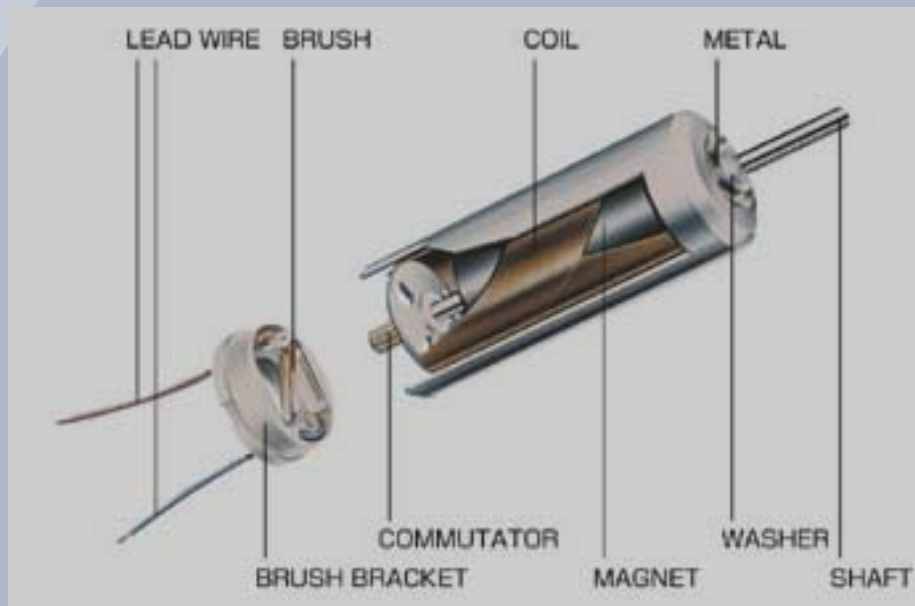
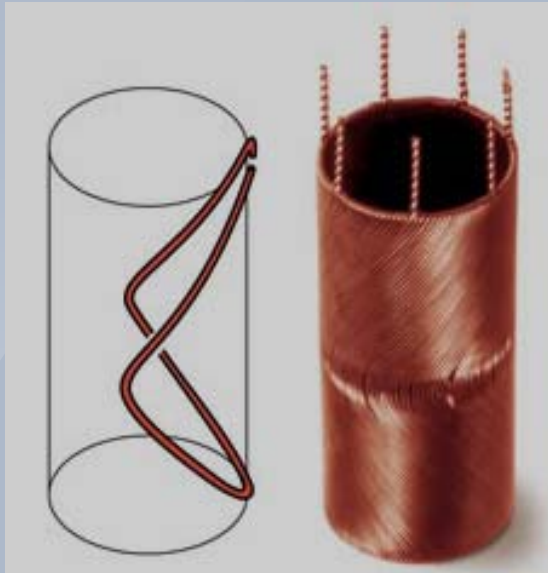
Printed Circuit Motor



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



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



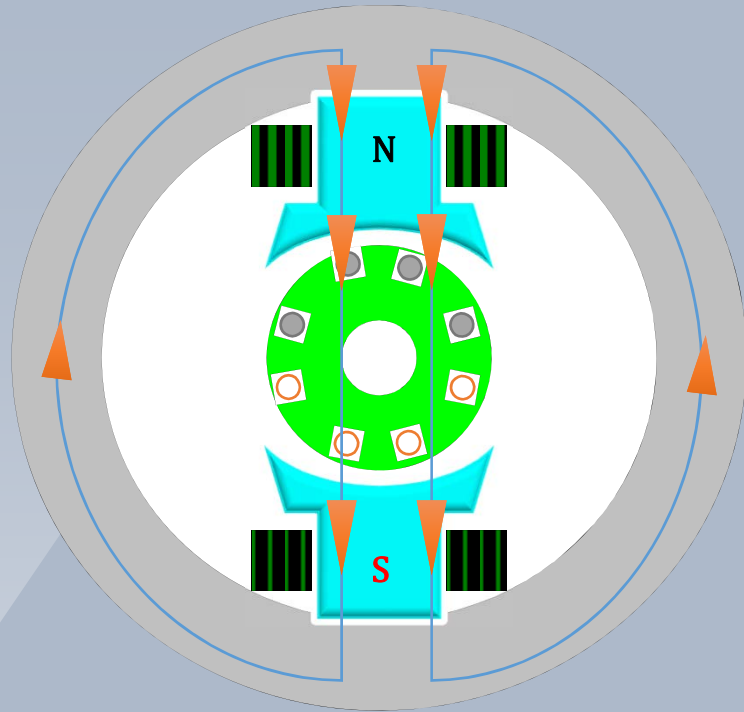


Rotor mașină de c.c. in proces de bobinare



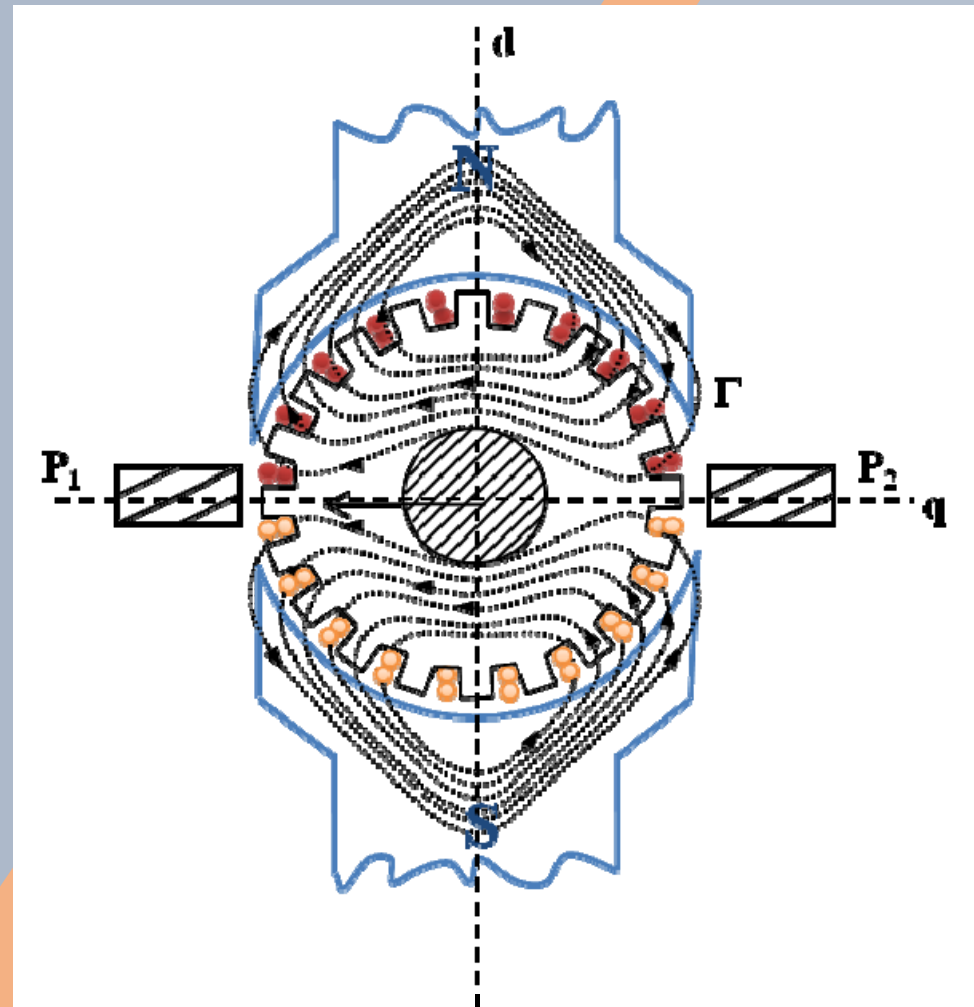
Colector

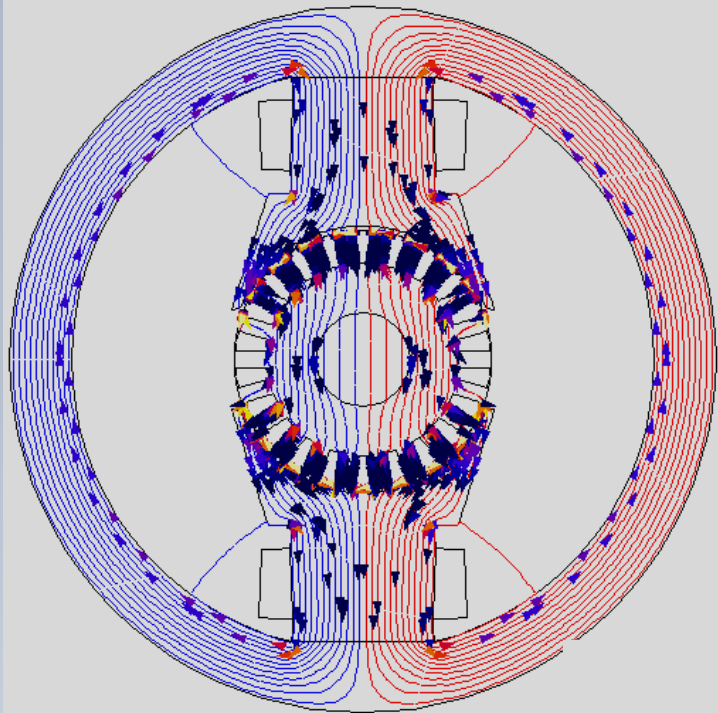
Câmpuri electromagnetice in mașina de c.c.



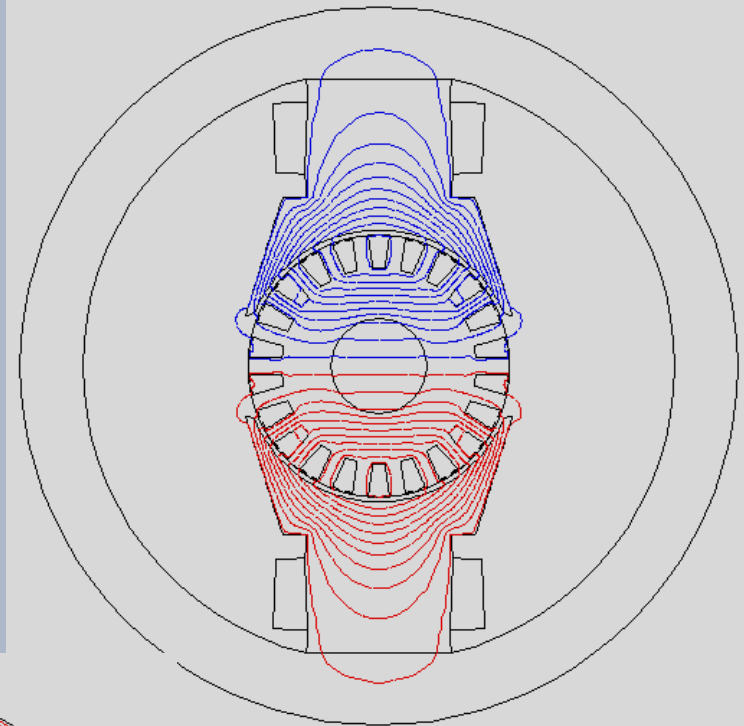
Câmp inductor

Câmp de reacție

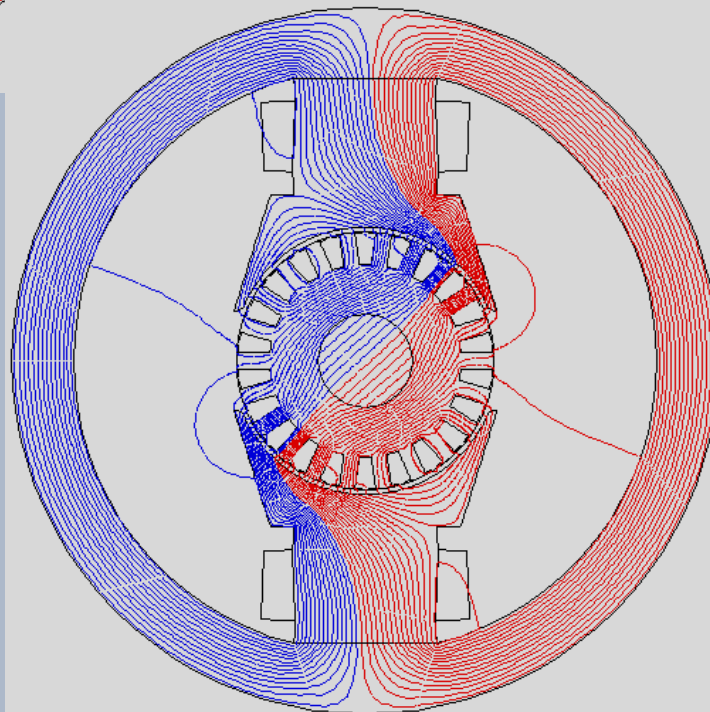




Câmp inductor

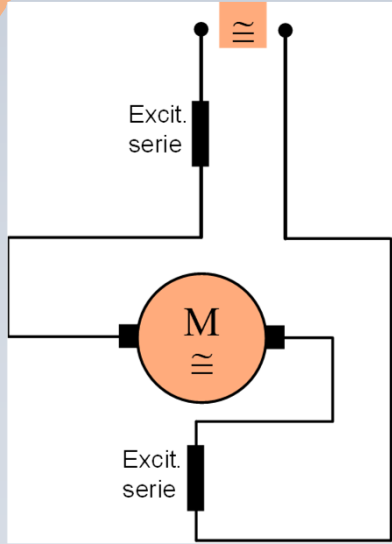
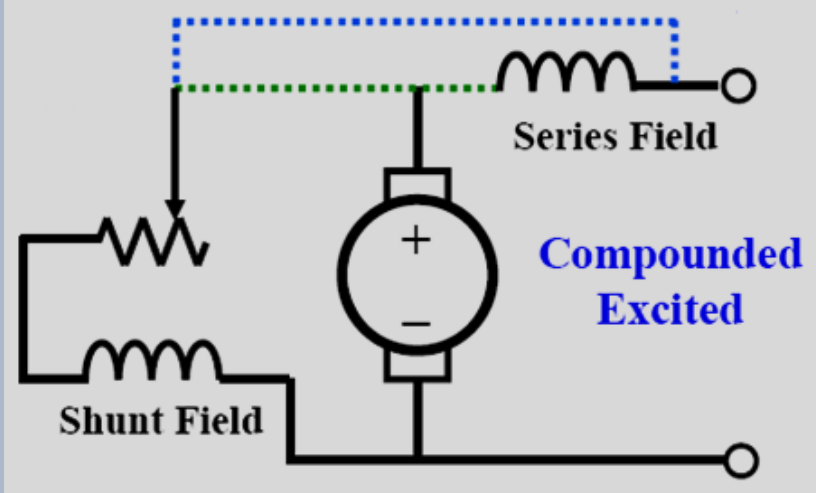
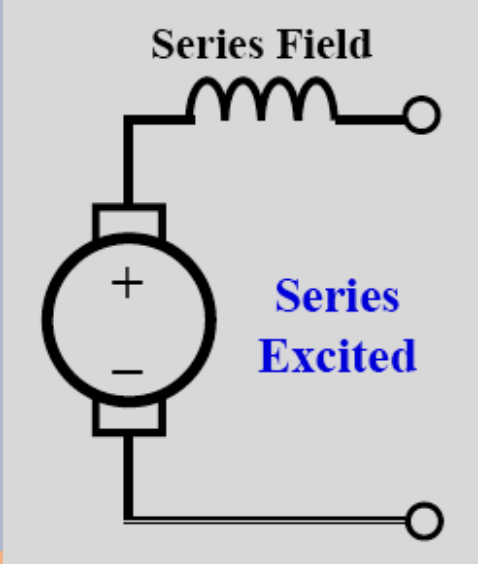
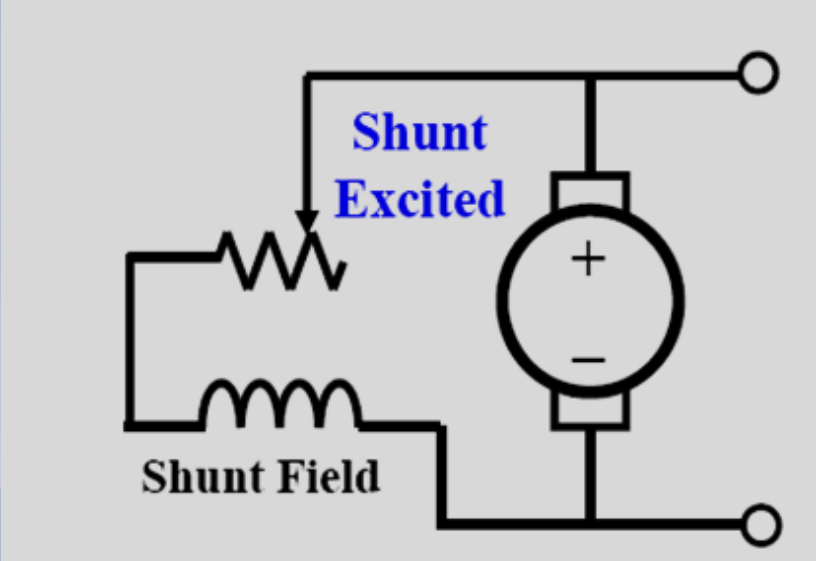


Câmp de reacție



Câmp rezultat

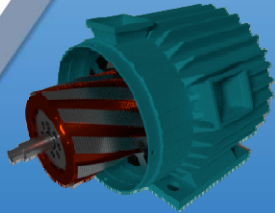
Clasificare MCC după excitație

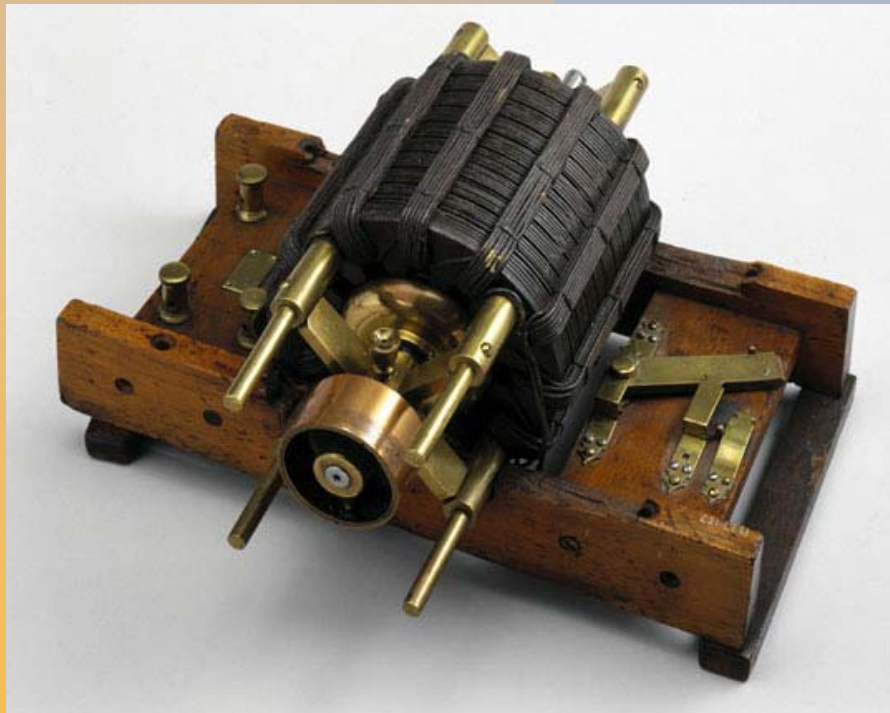


2

Mașini asincrone

Particularități, avantaje, dezavantaje.





Tesla motor (1887)



Ferraris motor (1885)

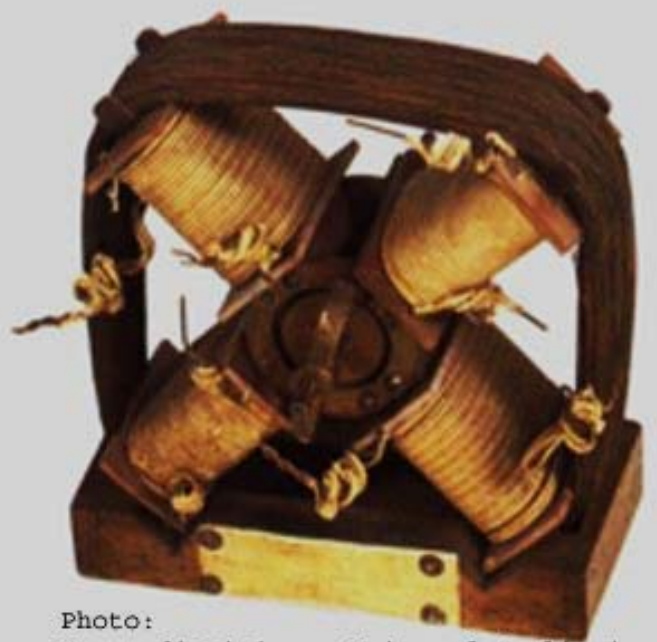
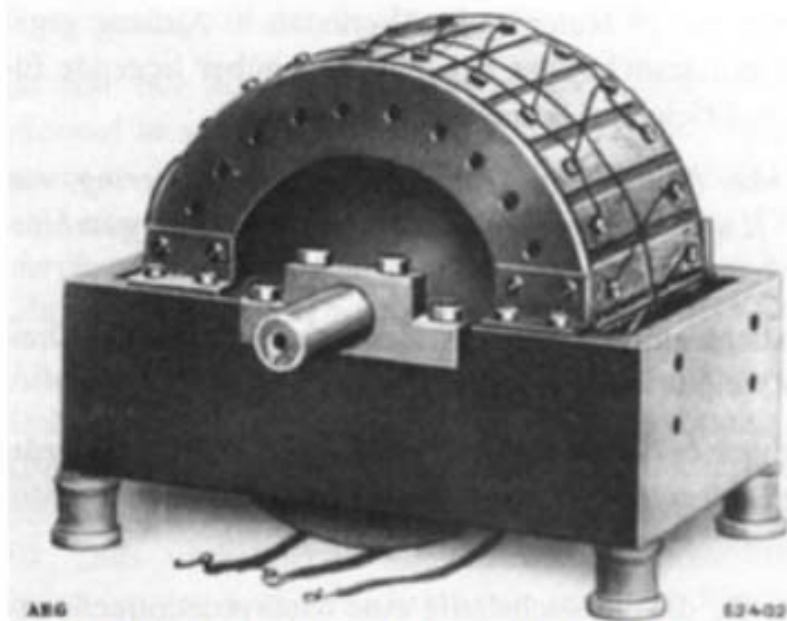
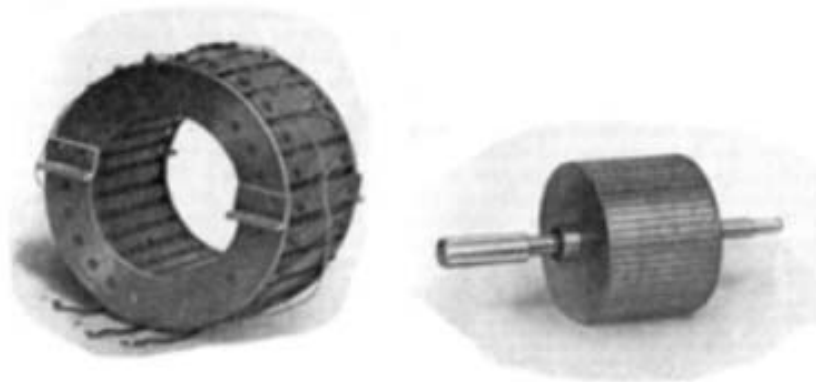


Photo:
Museo di Fisica - Univ. of Cagliari



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

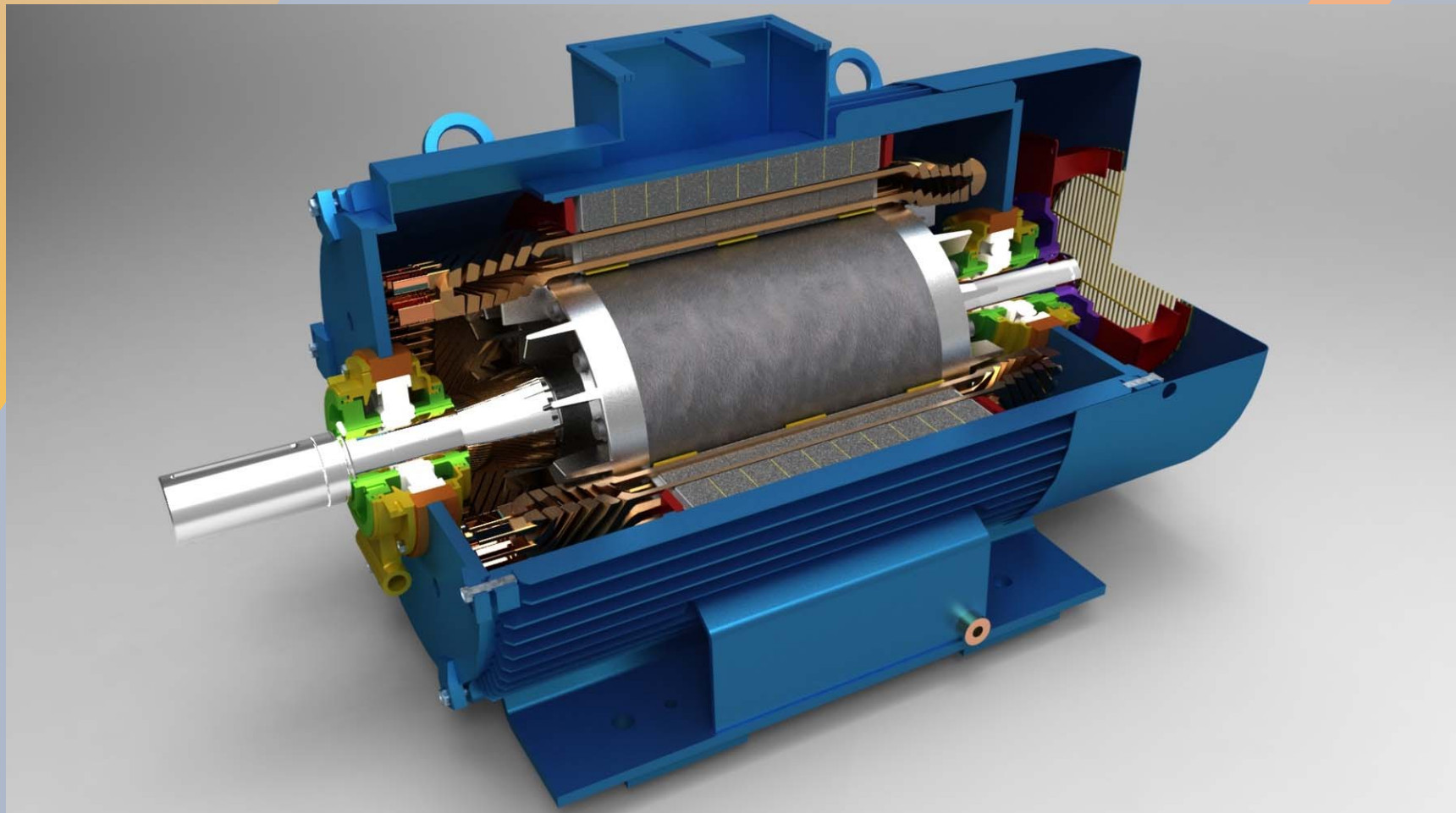
Dolivo-Dobrowolsky motor (1889)



Squirrel cage motor

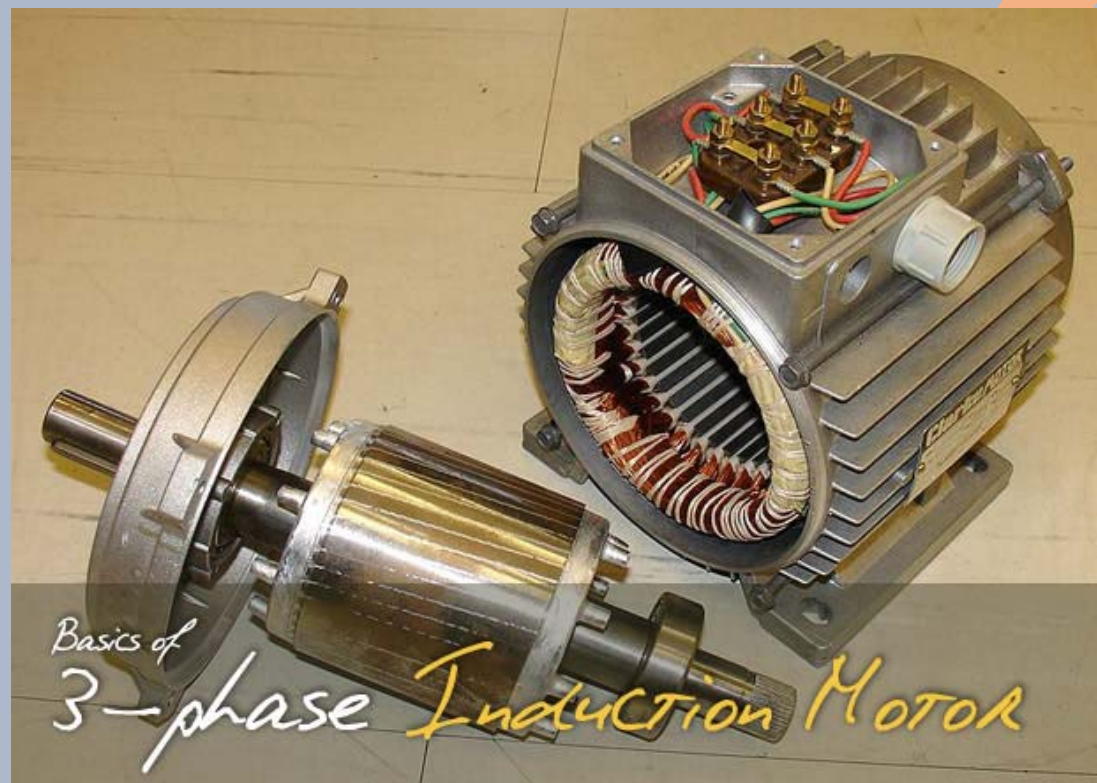


Wound rotor motor

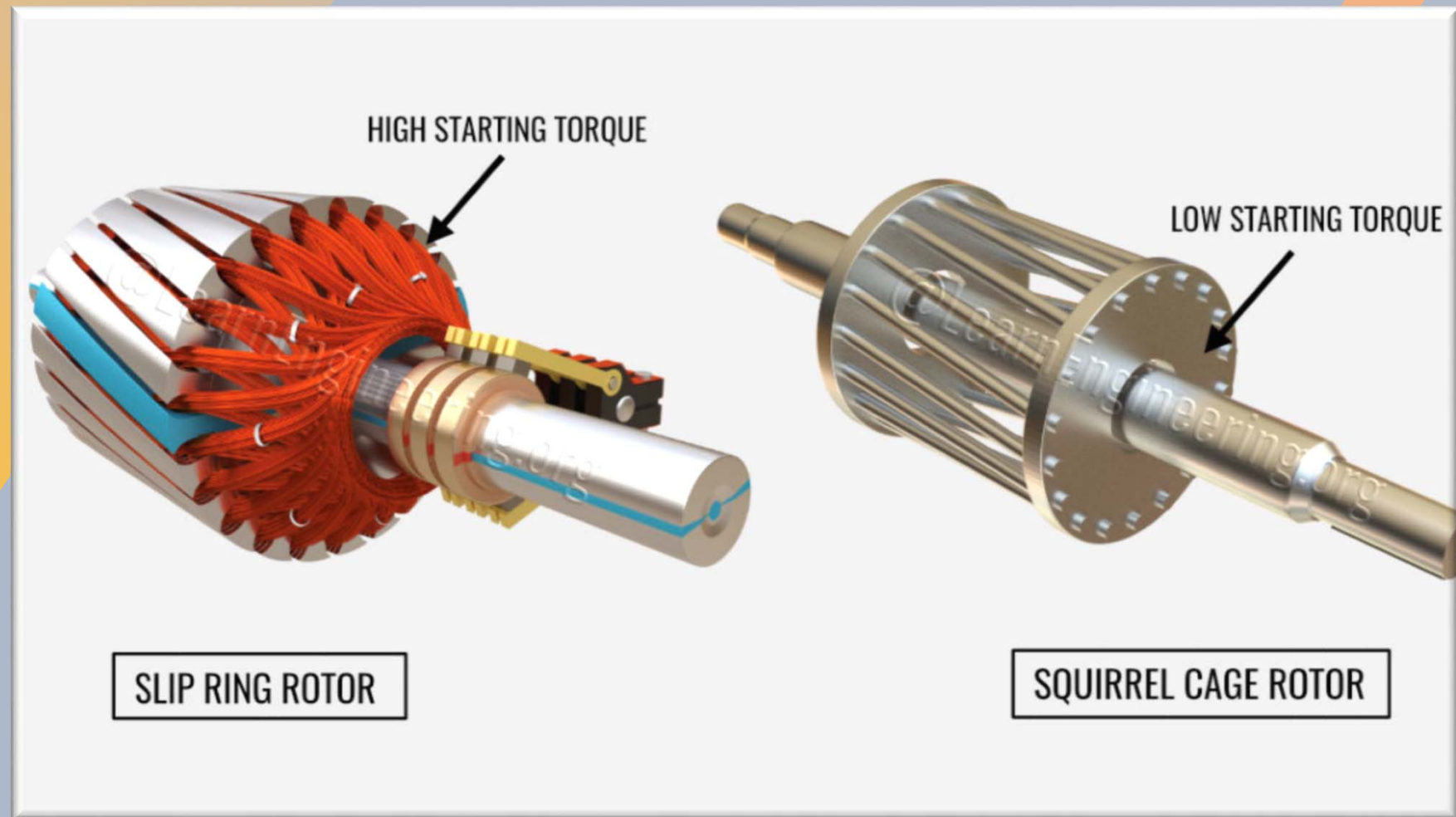


Secțiune prin mașina asincrona cu rotor in sc

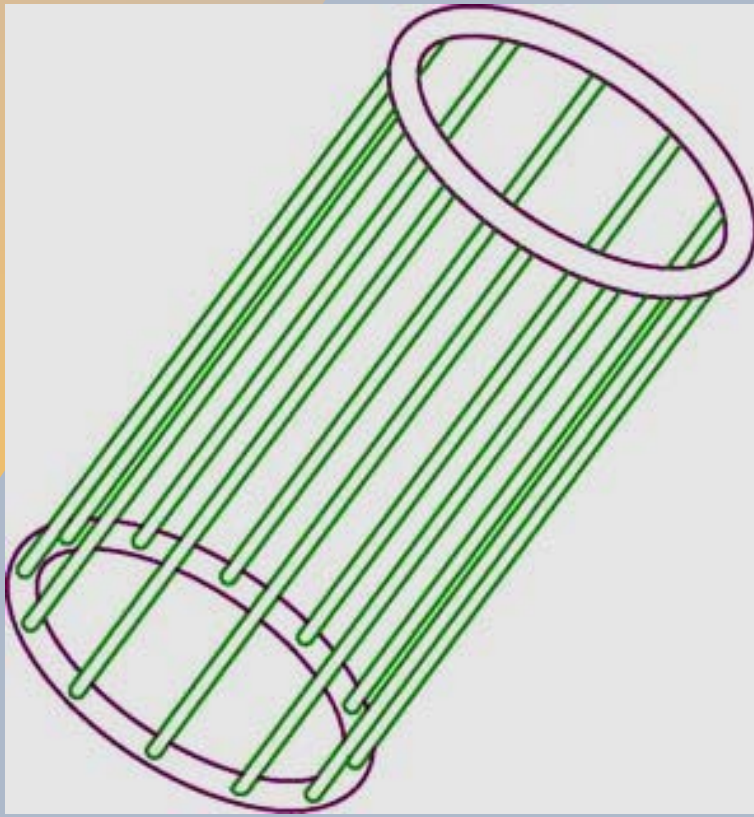
Stator - inductor



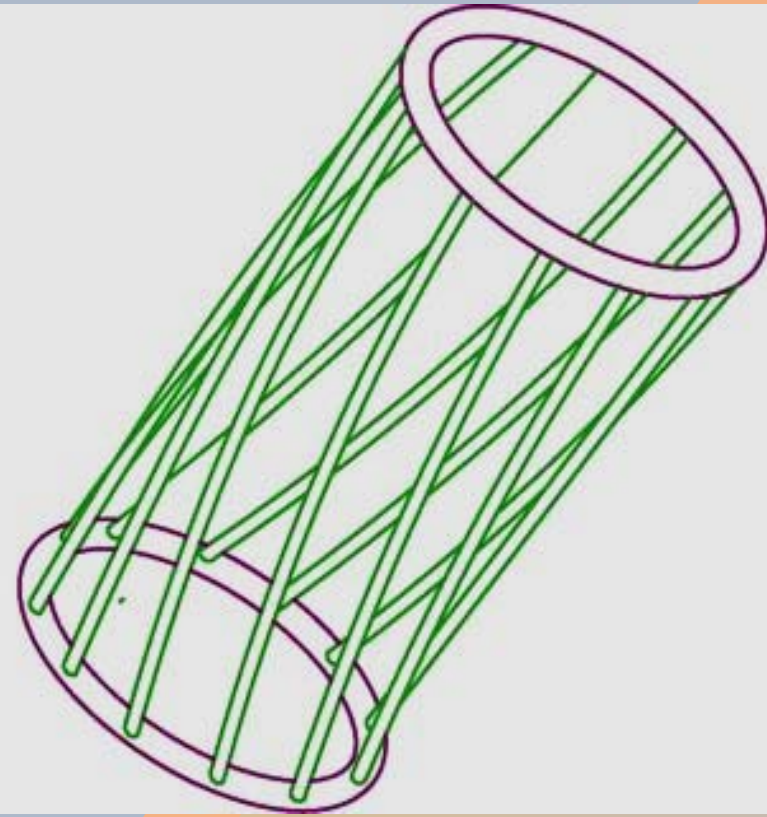
Rotor - induc



Rotoare maşini asincrone: bobinat respectiv in sc



Colivie cu bare drepte

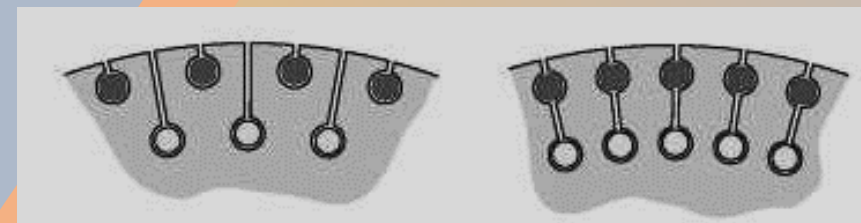
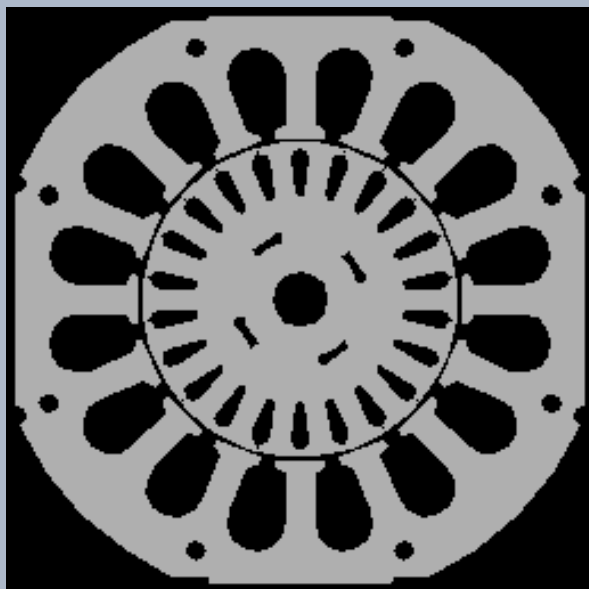
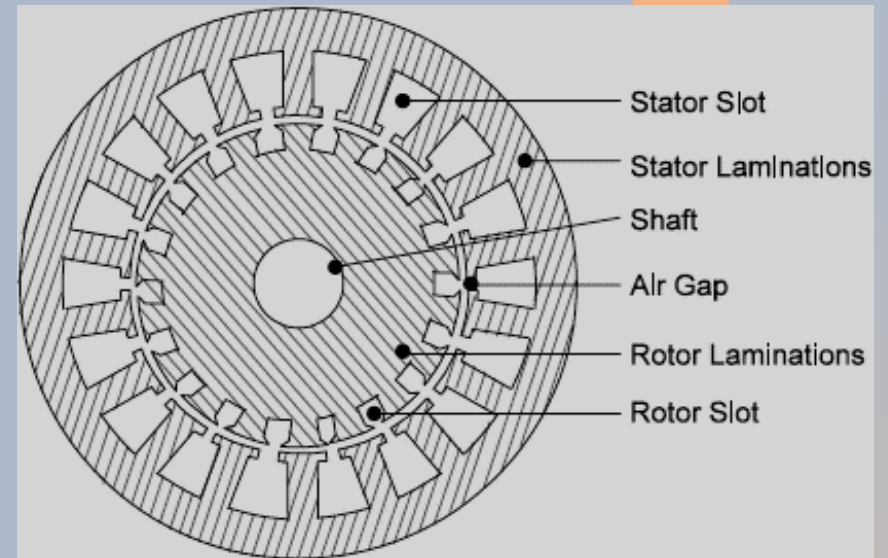
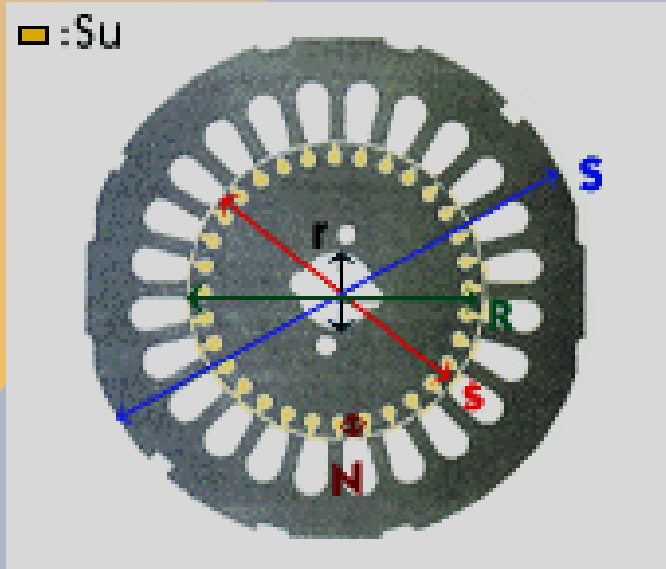


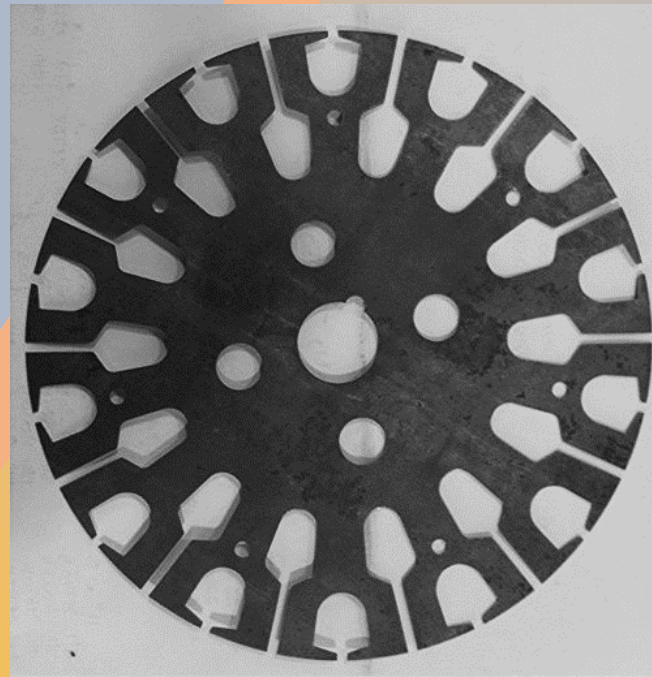
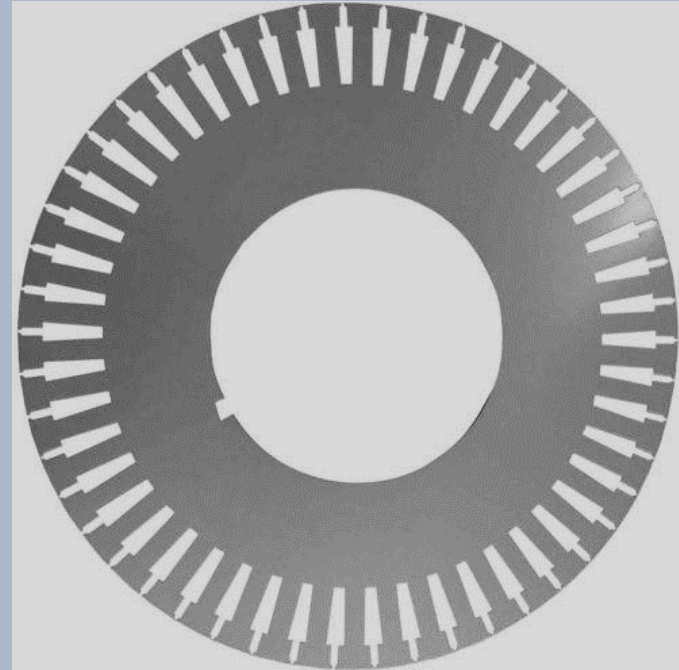
Colivie cu bare inclinate



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



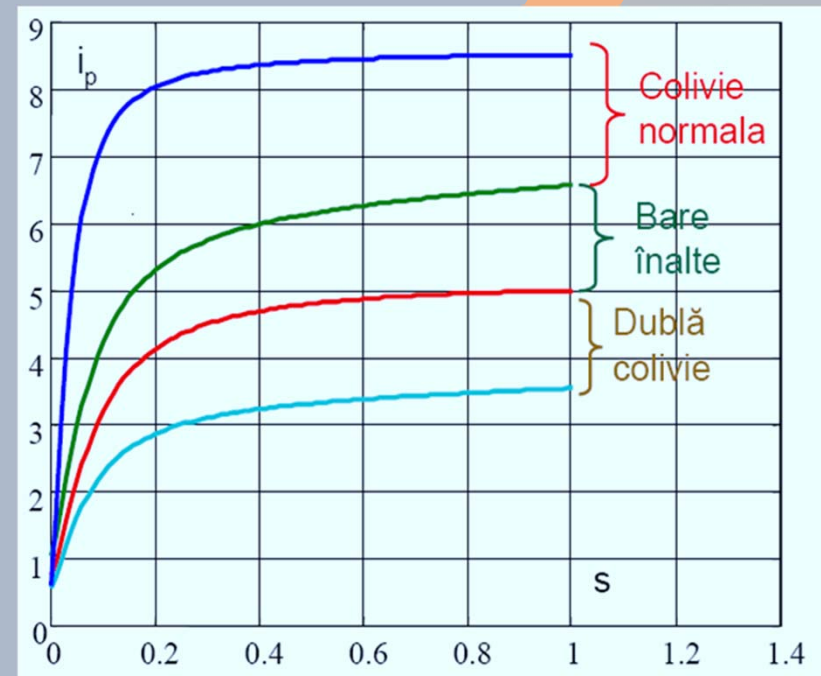
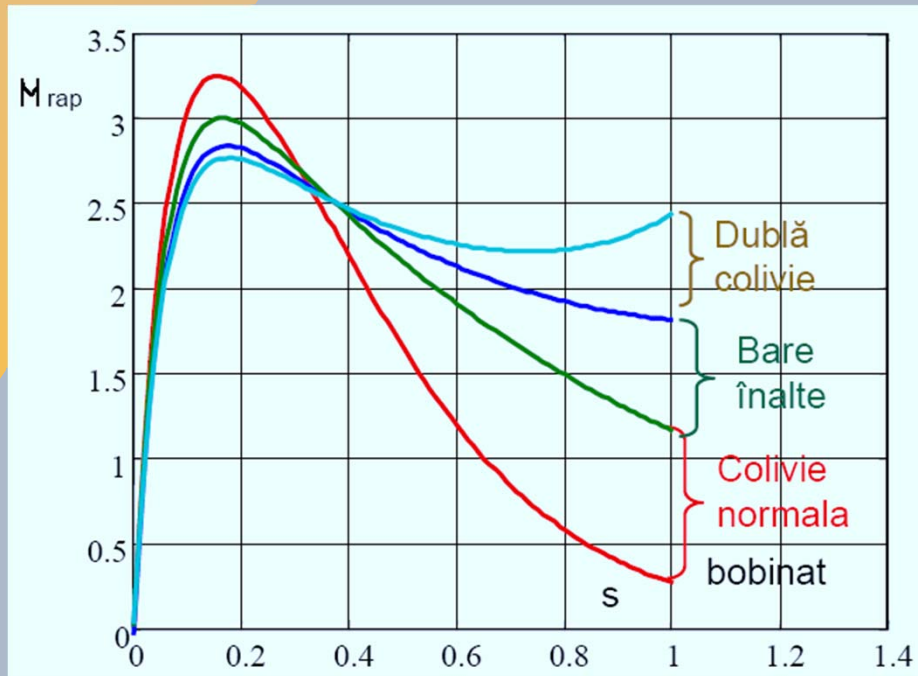




Elementele componente ale unei mașini asincrone

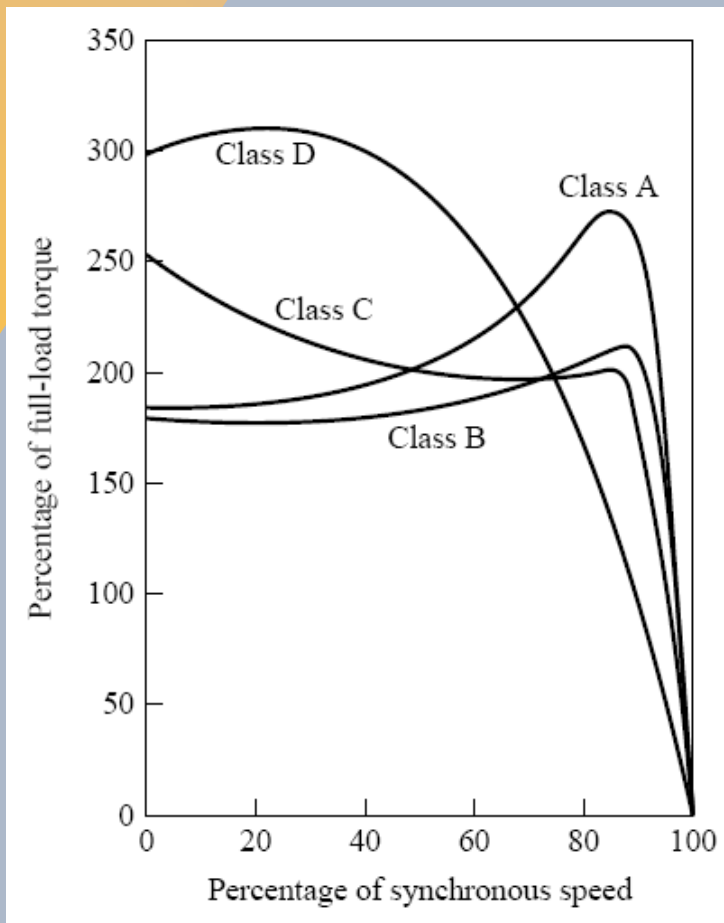
$$M_{rap} = \frac{M_p}{M_N}$$

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



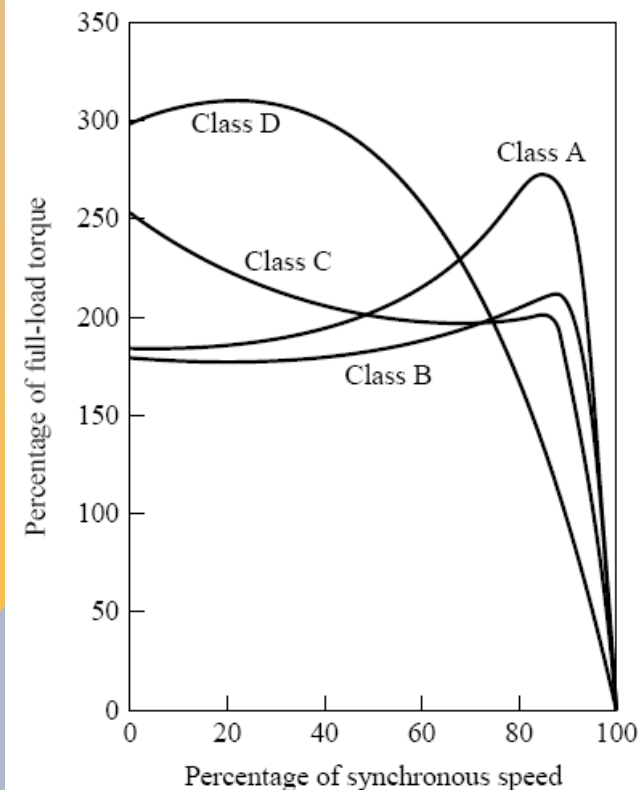
Caracteristica $M=f(s)$ a mașinilor asincrone cu diverse structuri rotorice

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



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

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



Clasa A

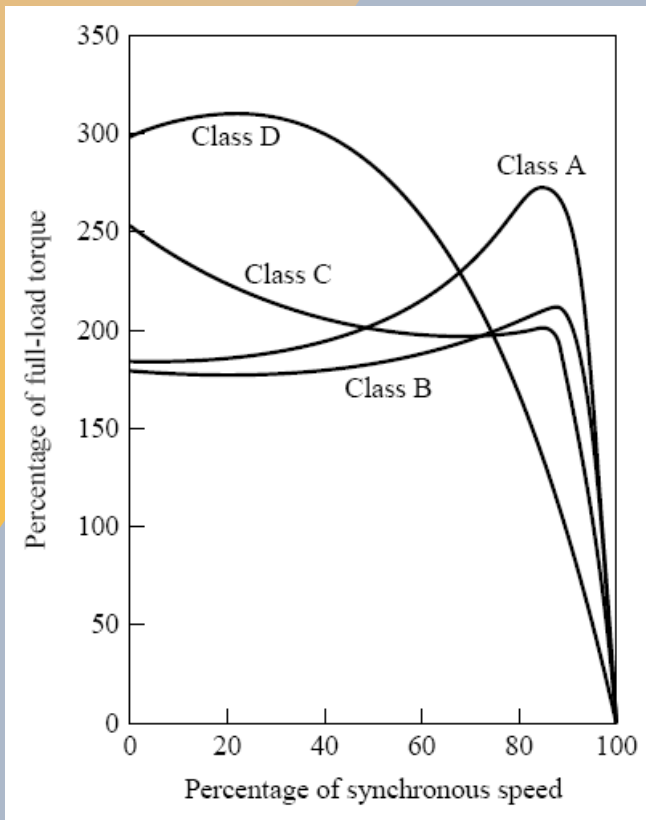
Caracterizează motoarele standard având valori normale ale cuplului de pornire și a curentului de pornire și funcționare la alunecări mici.

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.

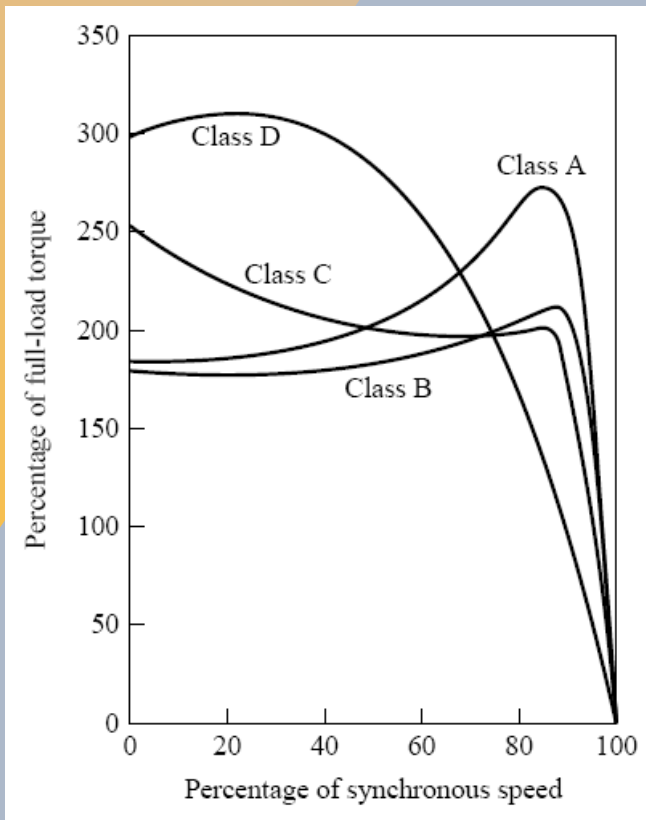


Clasa B

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.

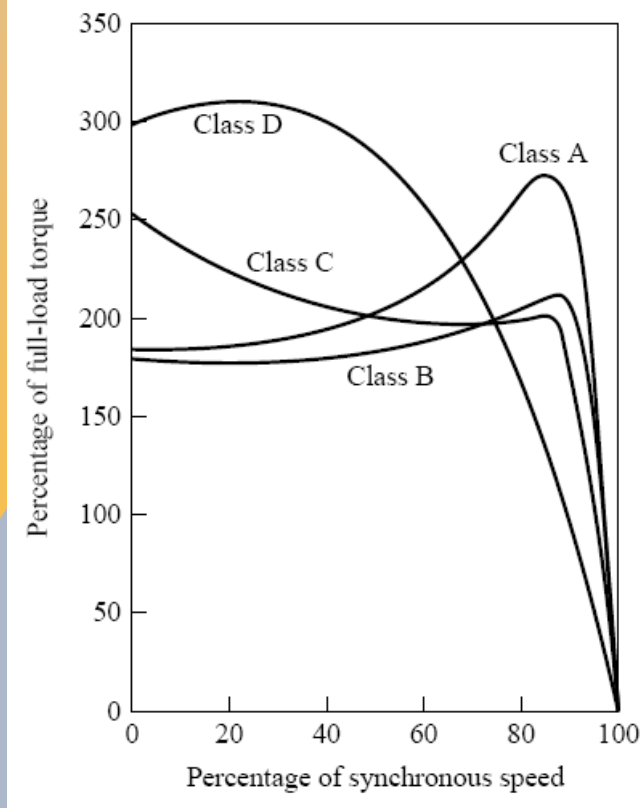


Clasa C

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

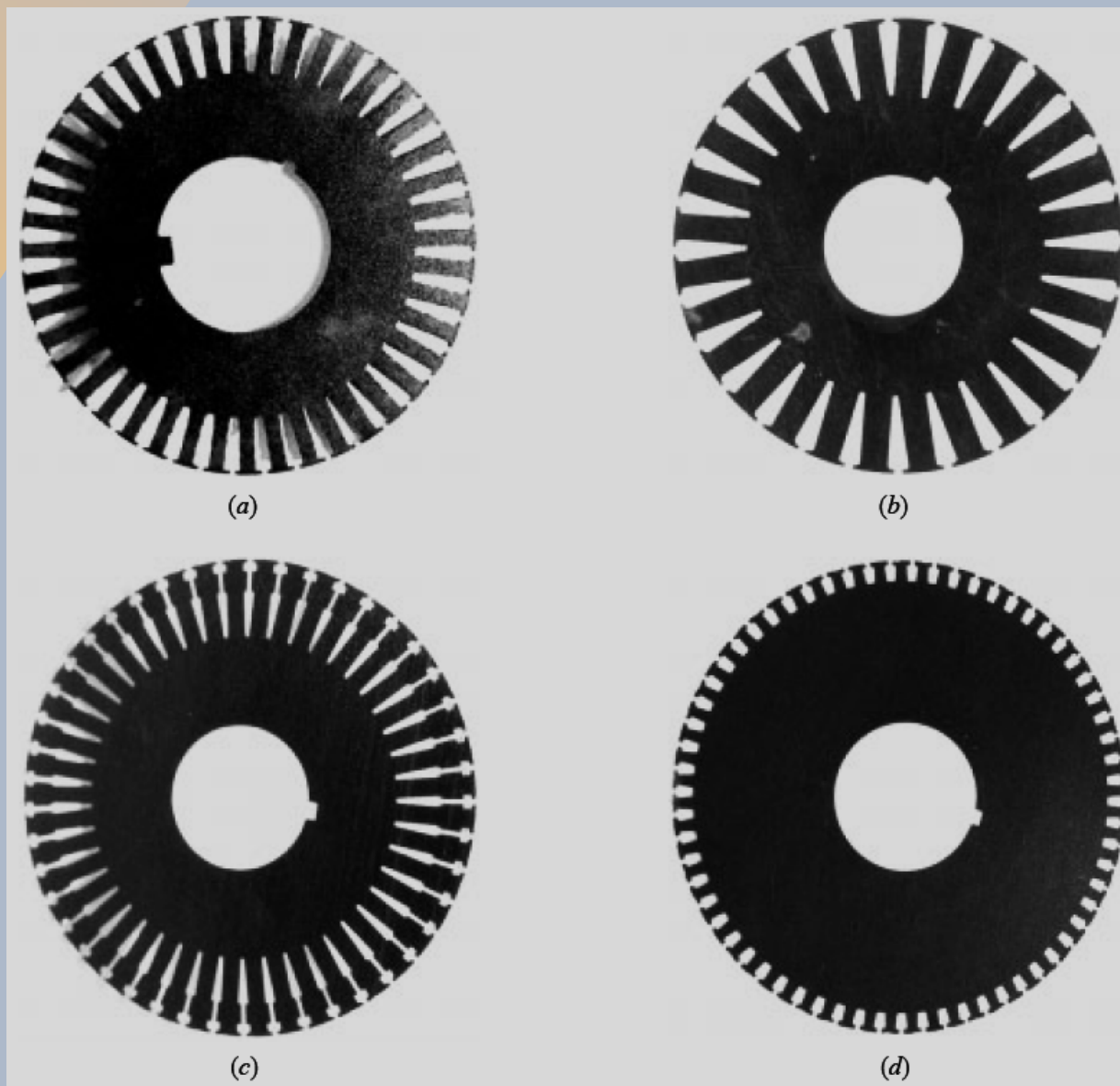
Motoarele din aceasta clasă au cuplu de pornire foarte mare, de regulă peste 2.75Mn și un curent de pornire mic, au de asemenea o alunecare nominală mare. În principiu sunt similare motoarelor din clasa A dar au barele rotorului mai mici și din materiale cu rezistență mai mare. Rezistența rotorică mare 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.

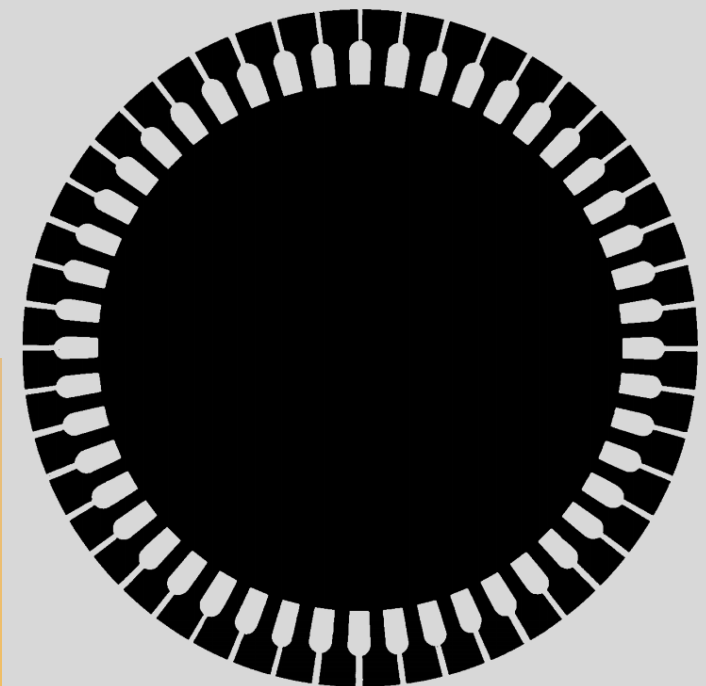
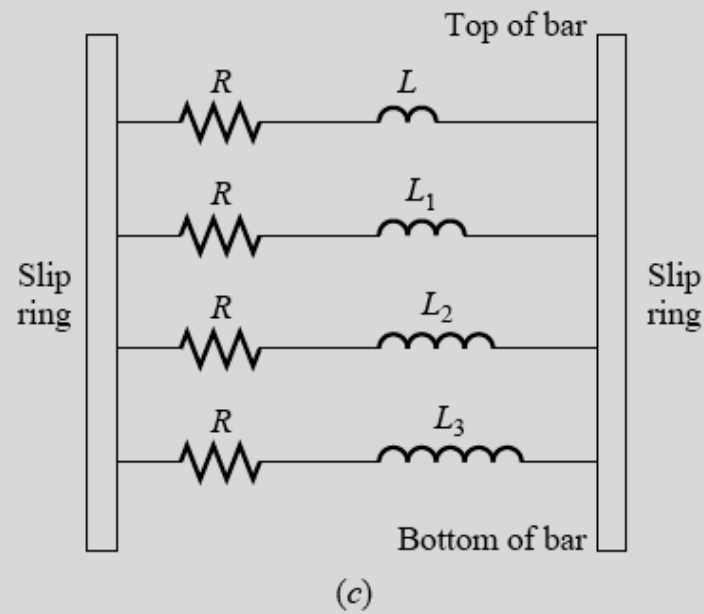
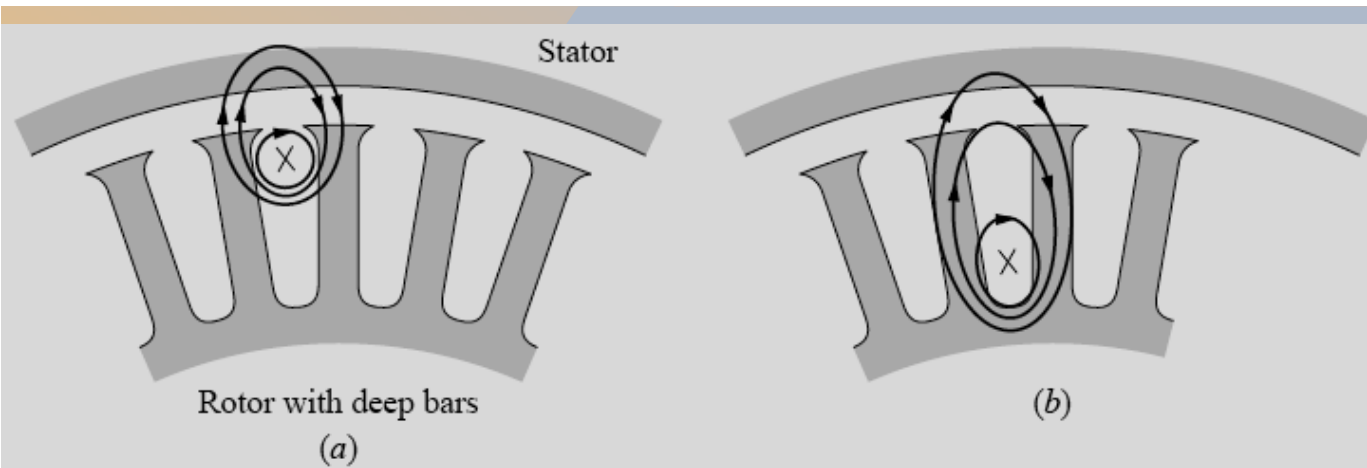
În aceste aplicații motoarele accelerează gradual un volant de dimensiuni mari până la viteza nominală care după aceea acționează brațul de lovire. După lovire motorul reaccelerează volantul într-o perioadă de timp suficient de lungă pentru realizarea următoarei loviri.

	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

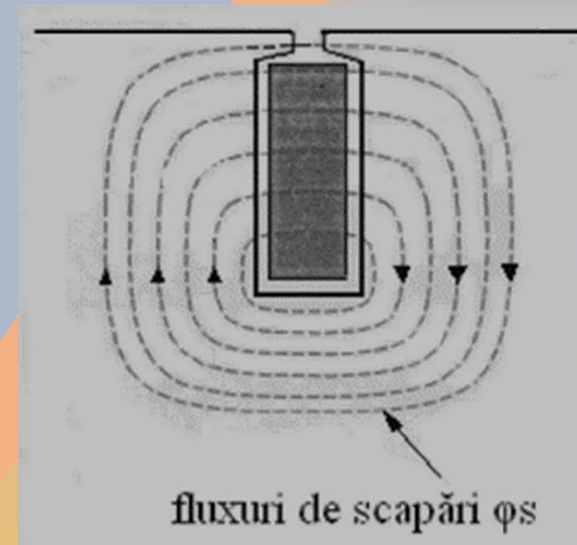
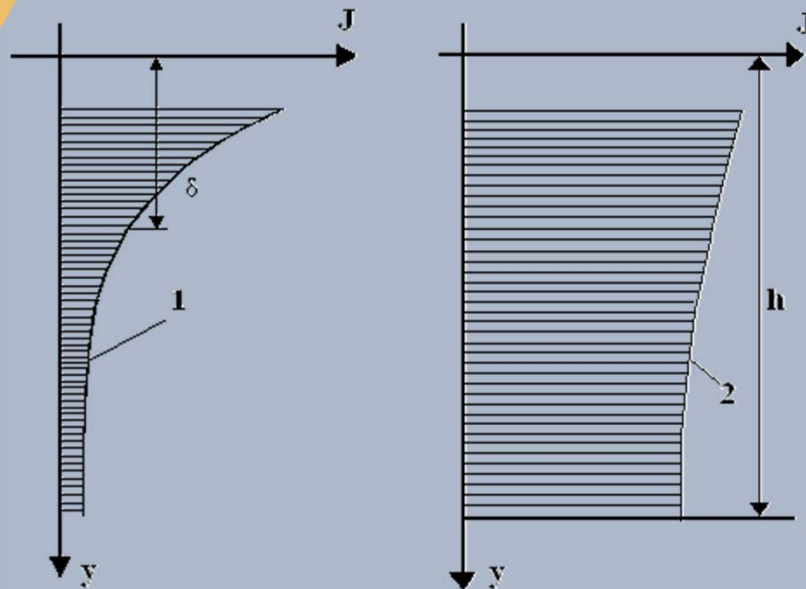


**Fenomenul de refulare a curentului la pornire
caracteristic mașinilor cu bare înalte sau
colivie dubla**

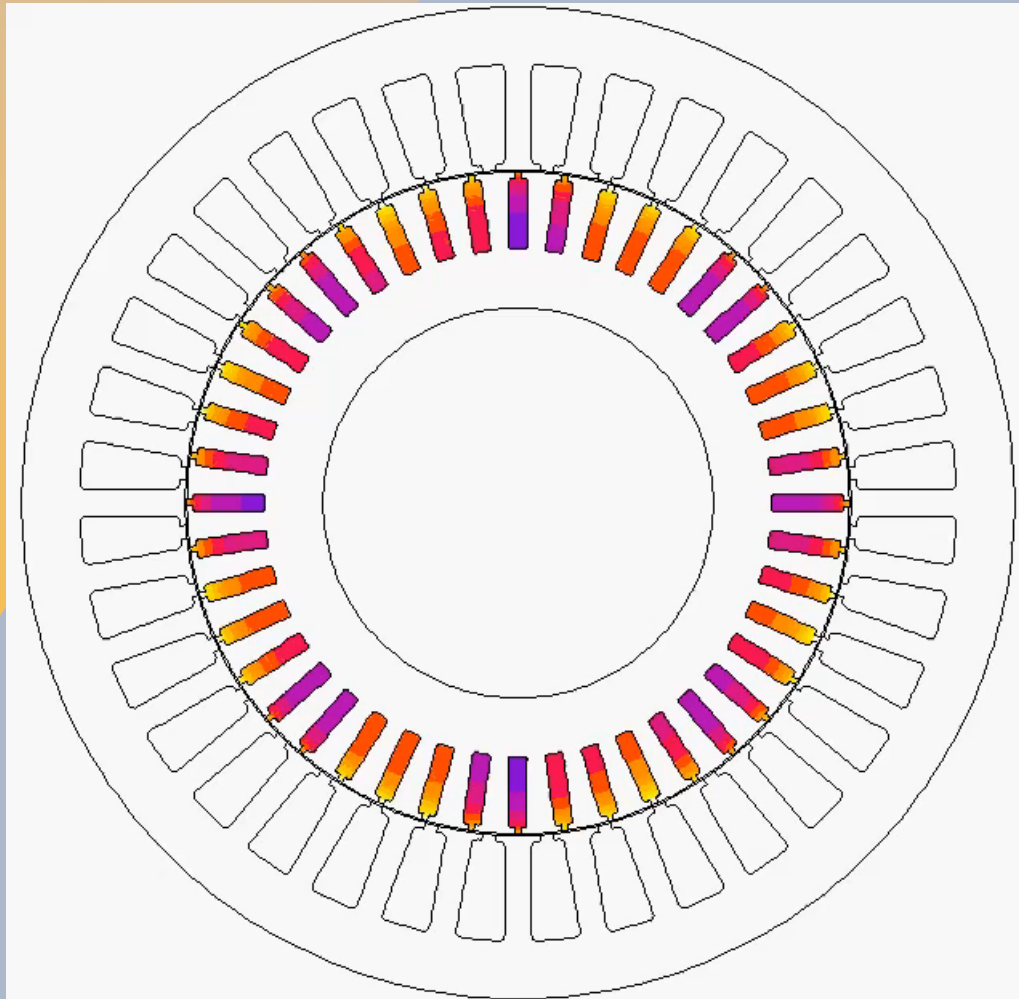
Când sunt parcurse de curenți, barele rotorice creează fluxuri de scăpări care se închid în jurul conductoarelor elementare.

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): 0Phase (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

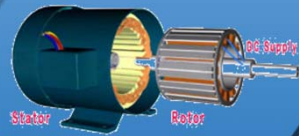


Variația densității de curent in barele rotorice de la pornire până la funcționarea in gol; $s=(0.99-0.03)$

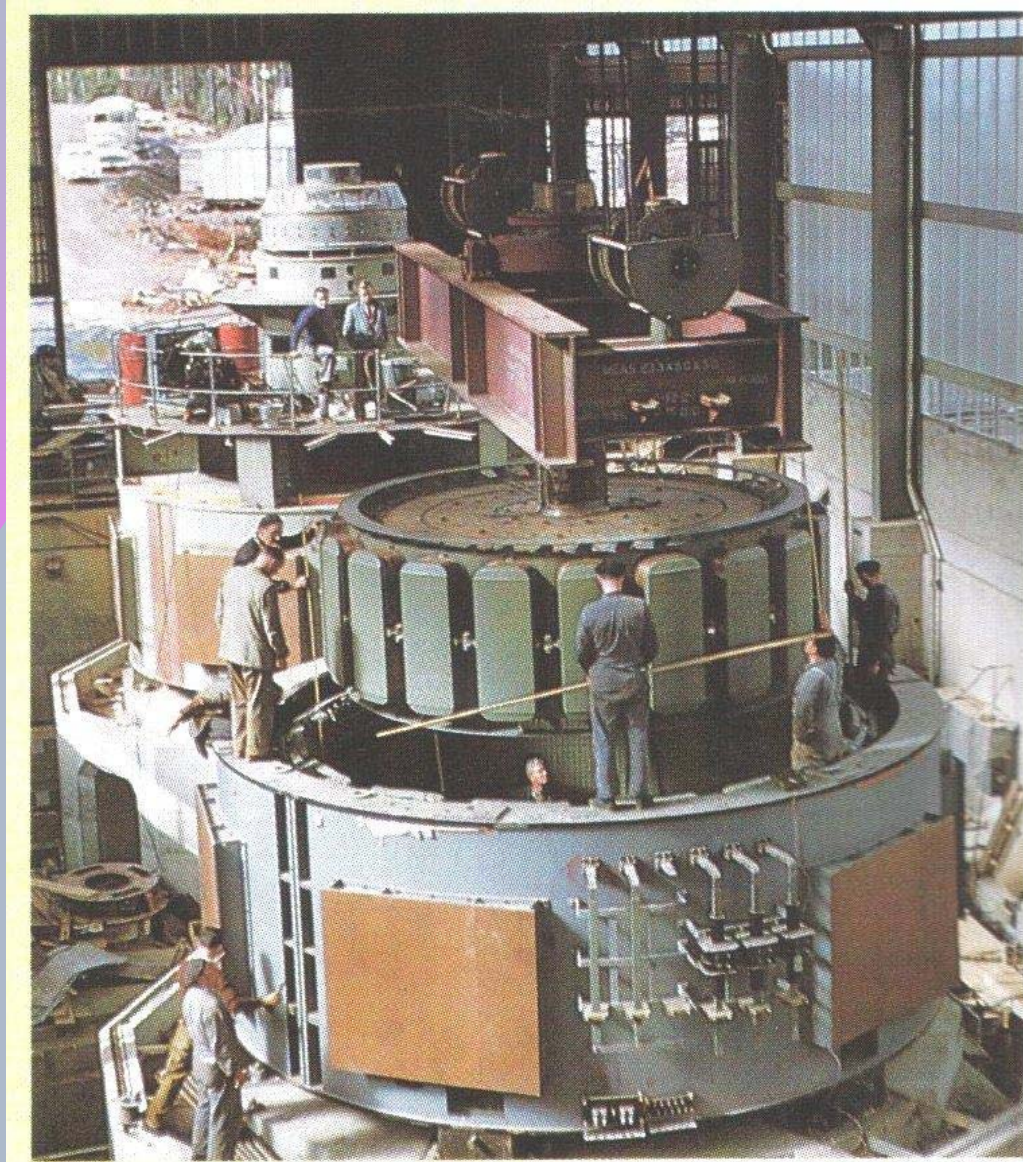
3

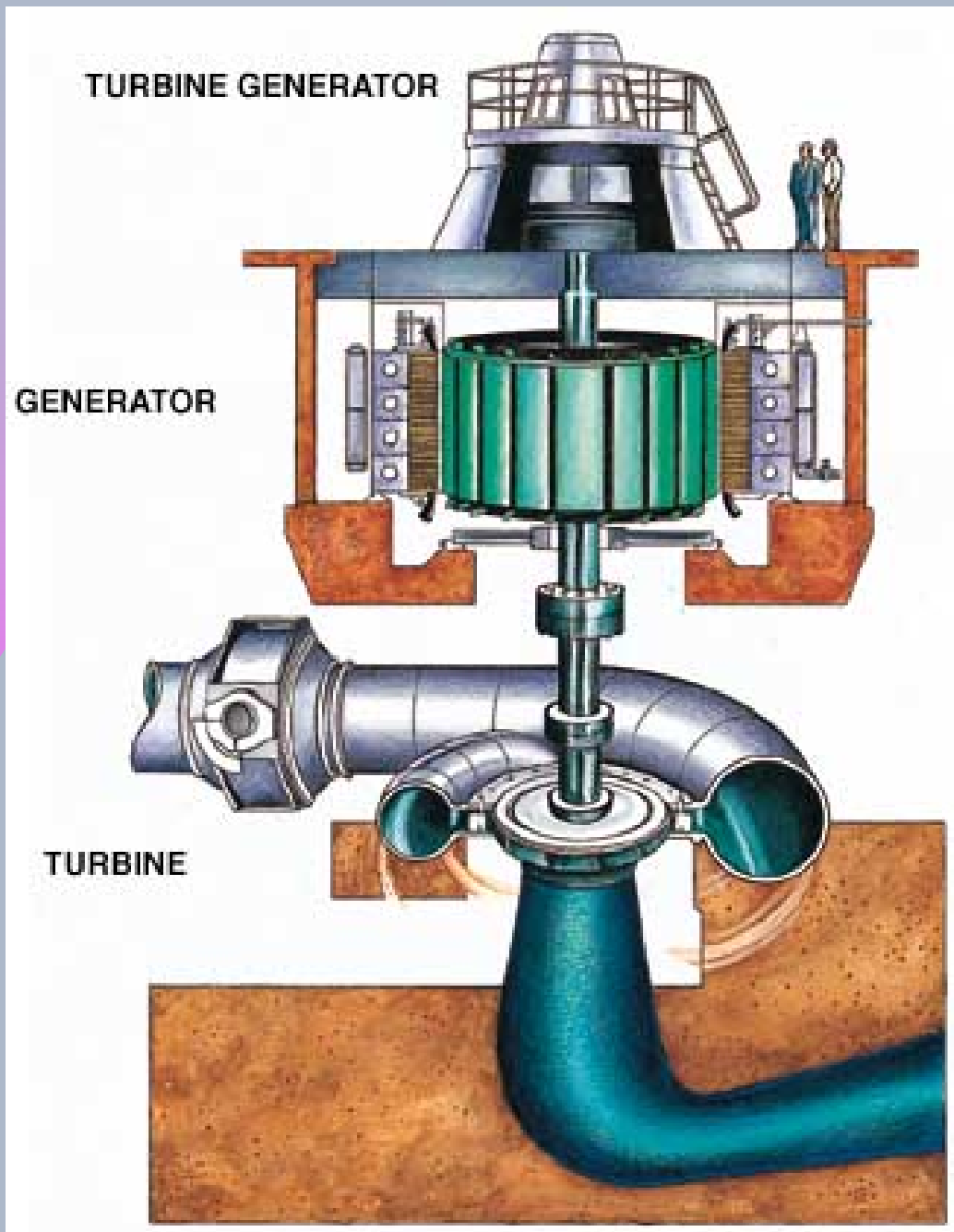
Mașini sincrone

Particularități, avantaje, dezavantaje.



HIDROGENERATOARE





Structura unui sistem cu hidrogenerator

Tipuri de turbine utilizate cu hidrogeneratoare

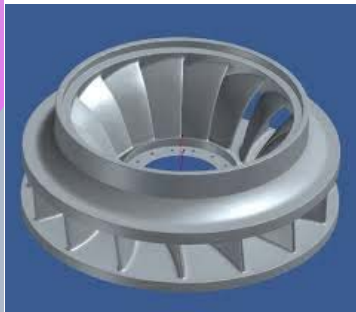
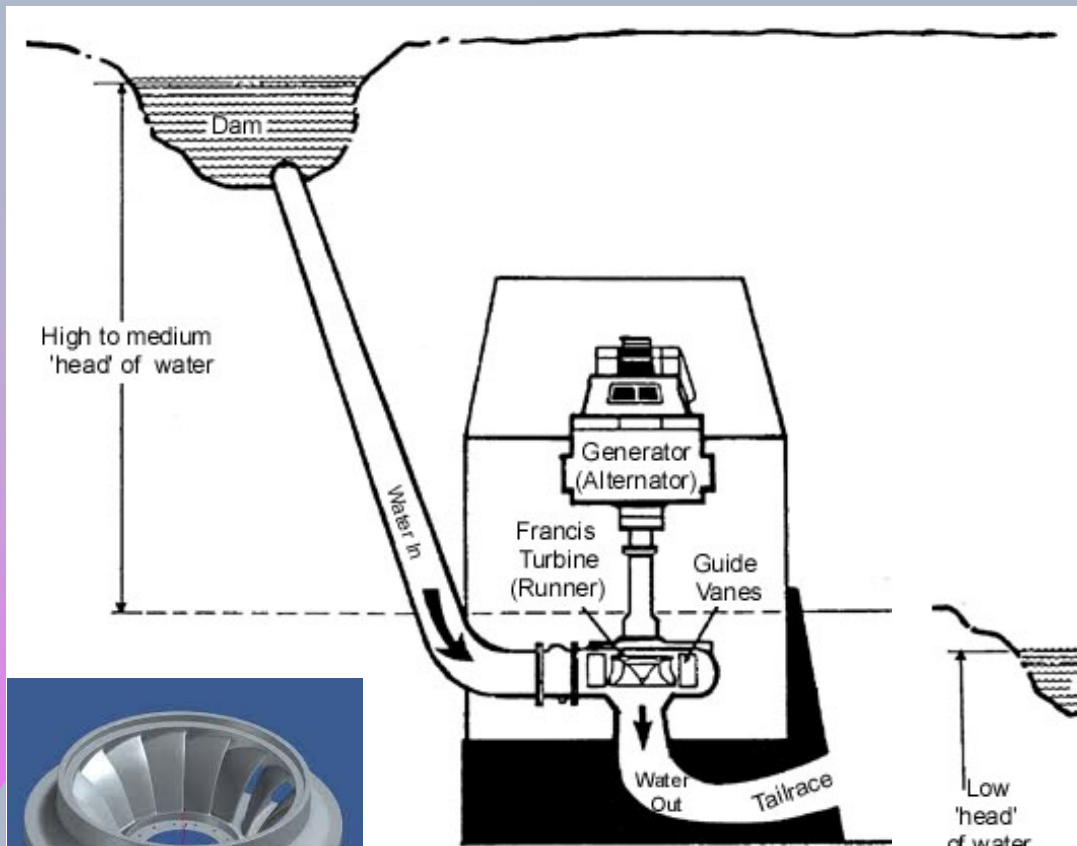
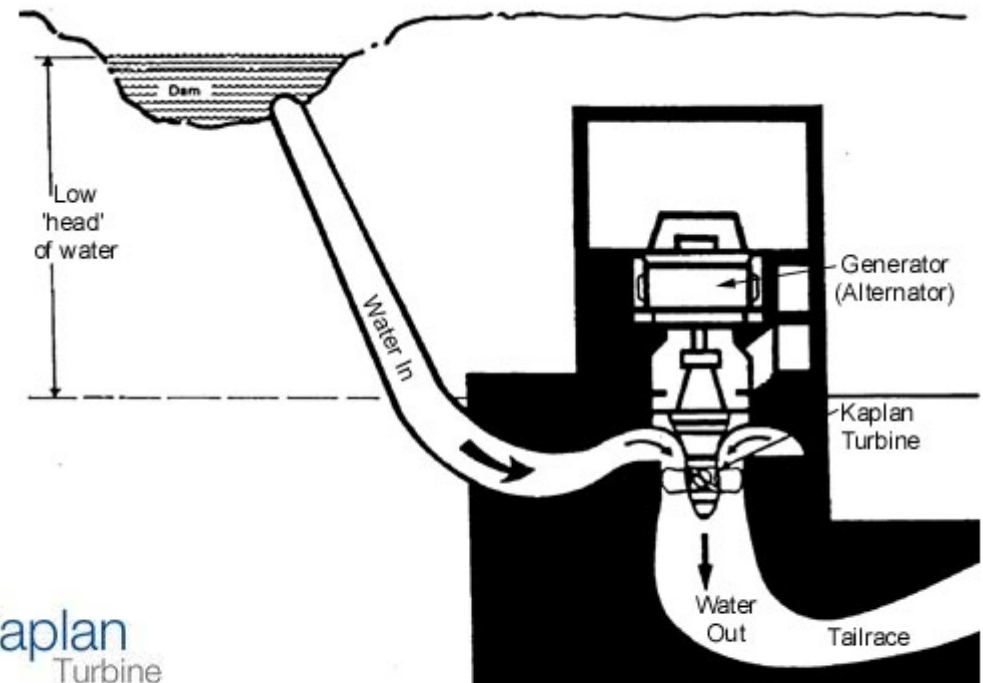


Figure 4 Francis water turbine
Copyright [Western Power Corporation](#)



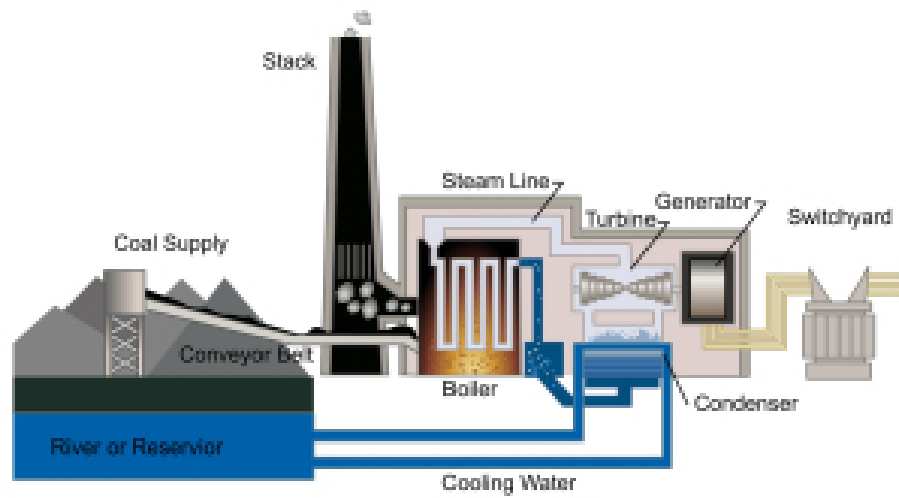
Kaplan
Turbine

Figure 5 Kaplan and propeller type turbine
Copyright [Western Power Corporation](#)

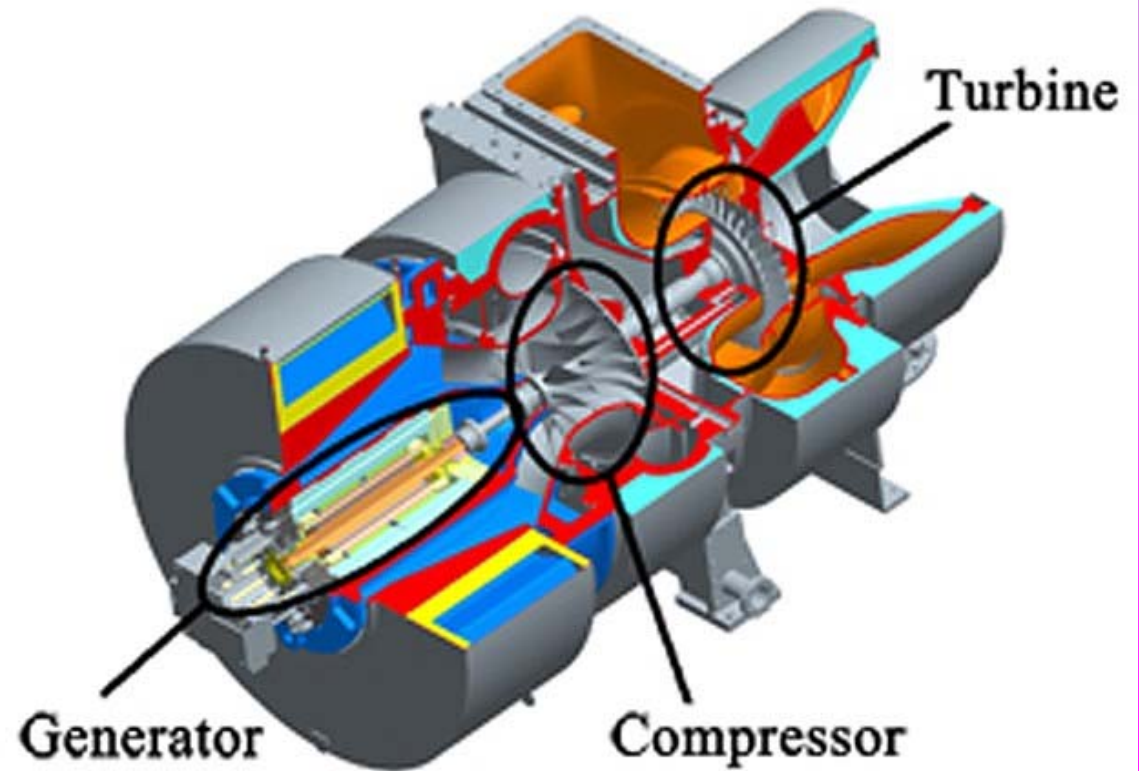
TURBOGENERATOARE

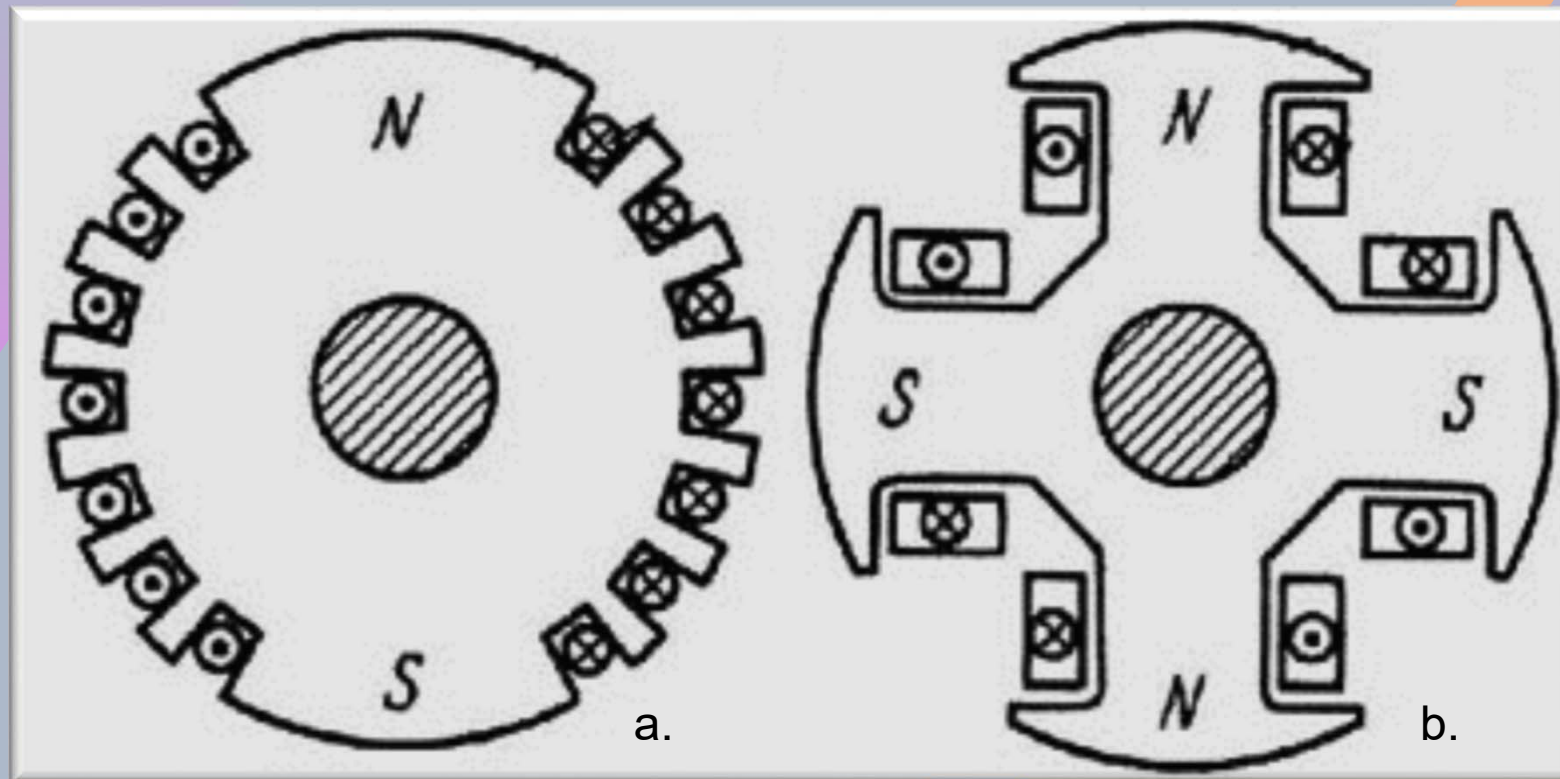


Example: Coal Fired Power Plant



Structura unui sistem cu turbogenerator





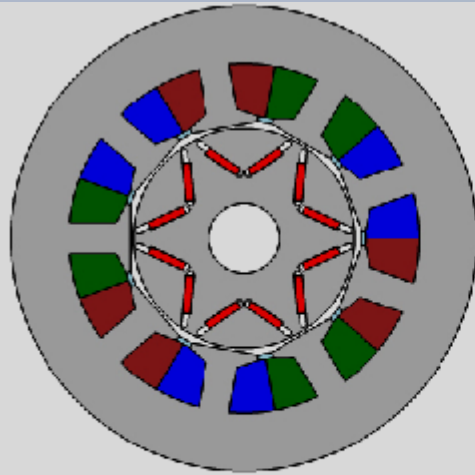
Tipuri de rotoare de mașini sincrone cu excitație electromagnetică
a – cu poli înecați; b – cu poli aparenti



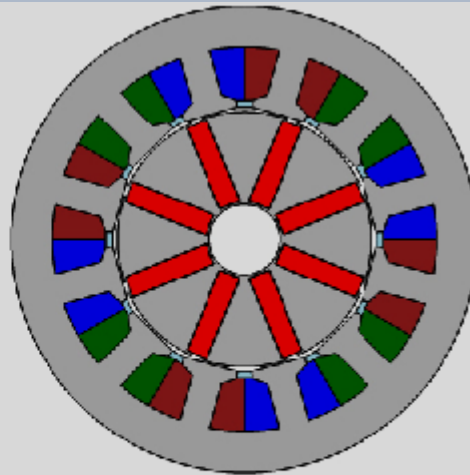
Rotor de mașină sincronă cu poli aparenti



Rotor de mașină sincronă cu poli înecați



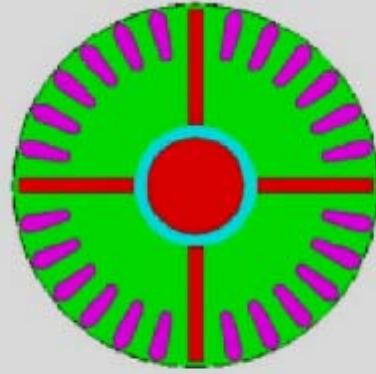
(a) VPMSM with NdFeB-magnets



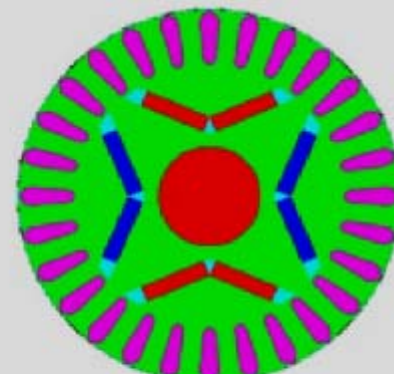
(b) Spoke-type PMSM with Fe-magnets



(a)



(b)



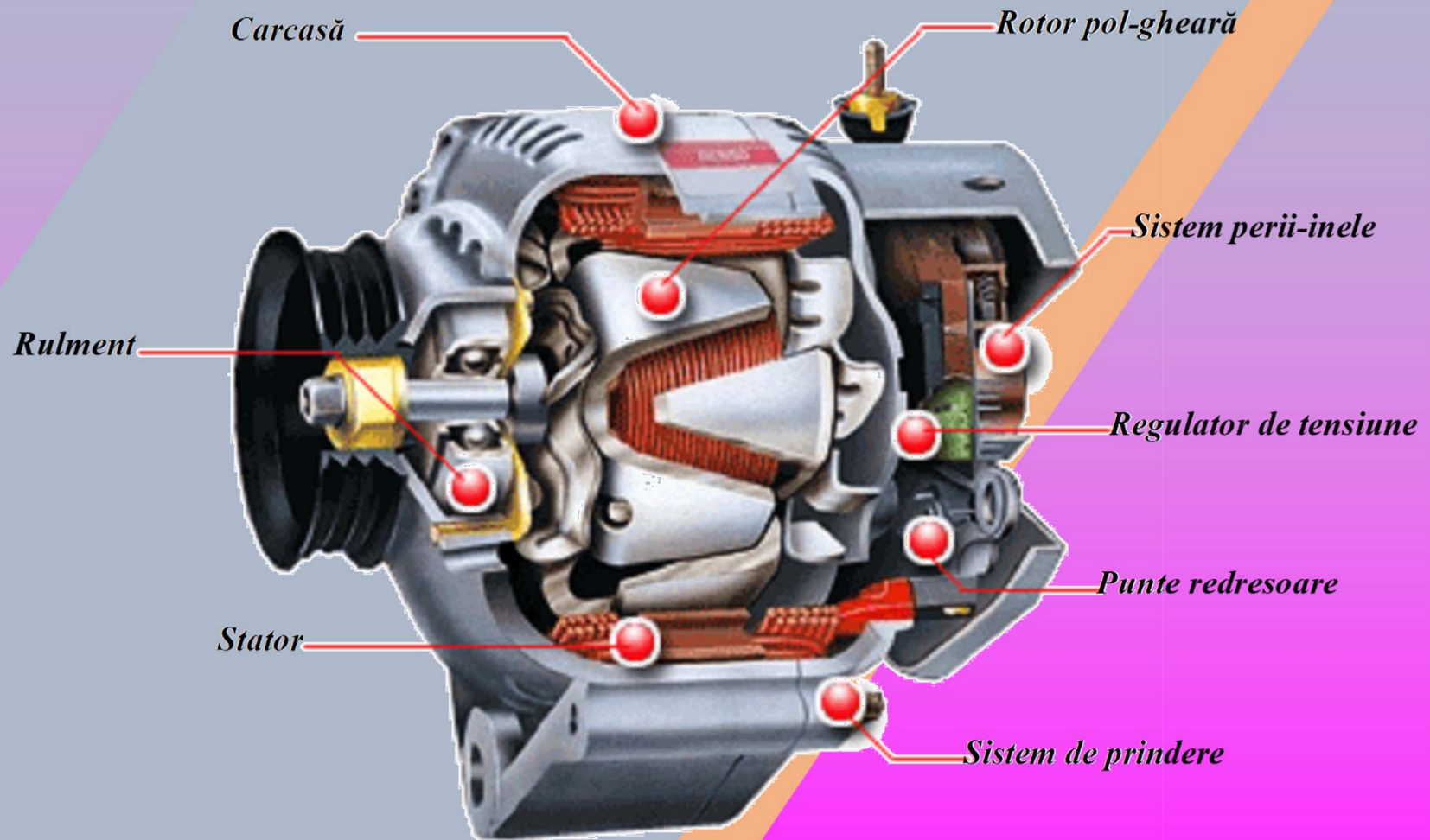
(c)

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



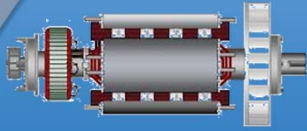
Rotoare de mașini sincrone cu excitație cu magneți permanenți

MAȘINĂ SINCRONĂ CU POLI GHEARĂ

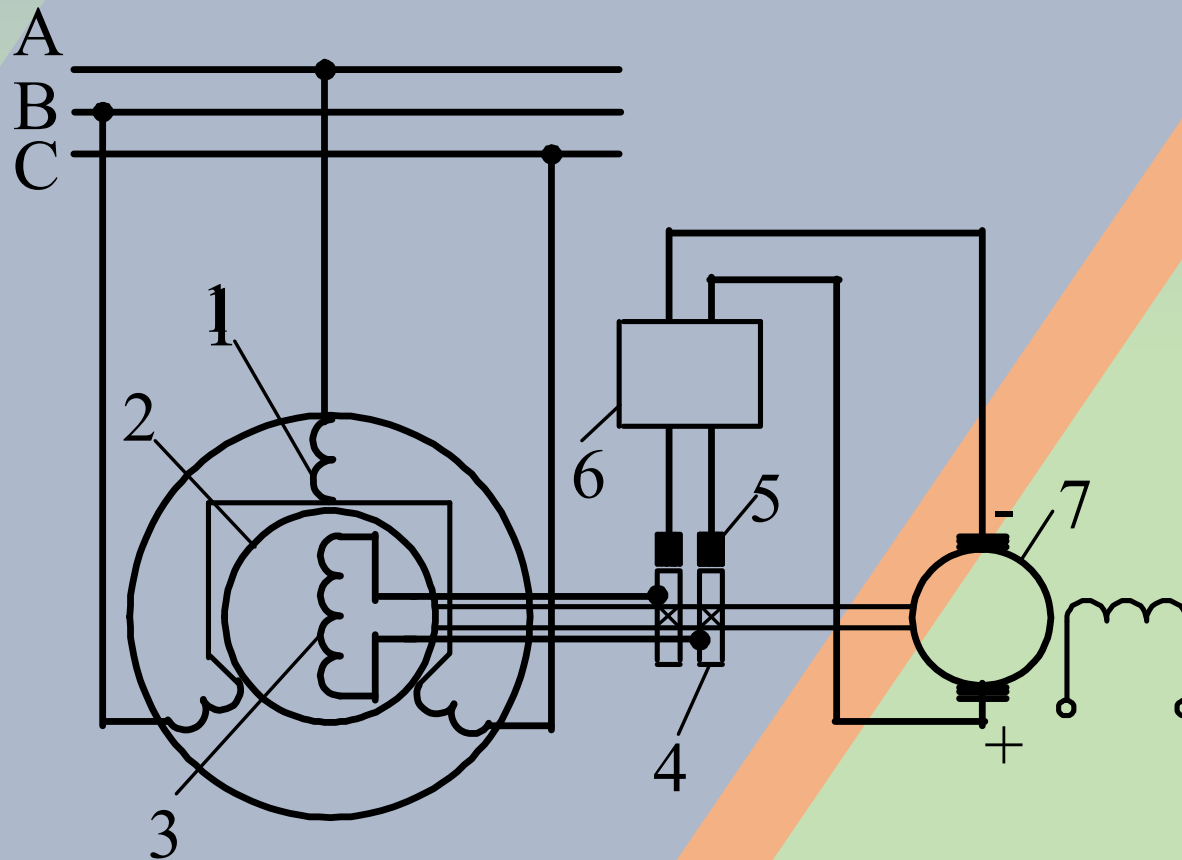


4

Sisteme de excitație la mașinile sincrone

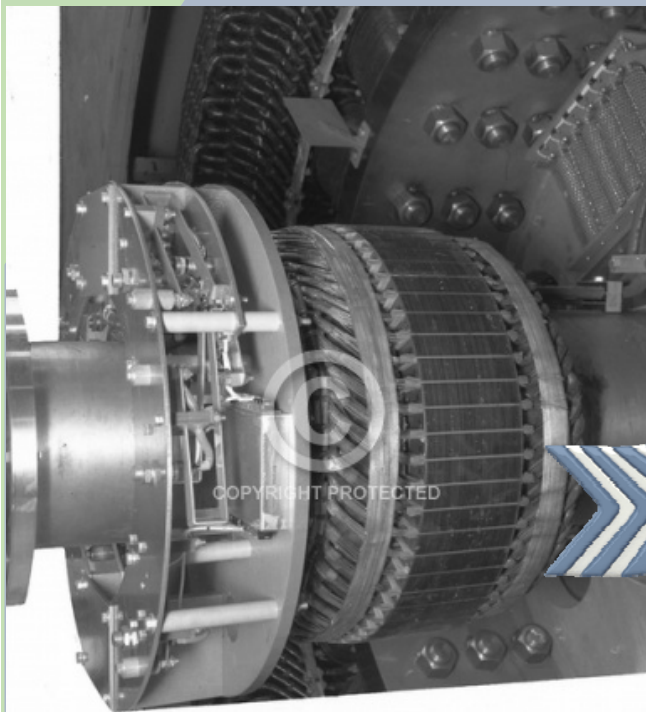
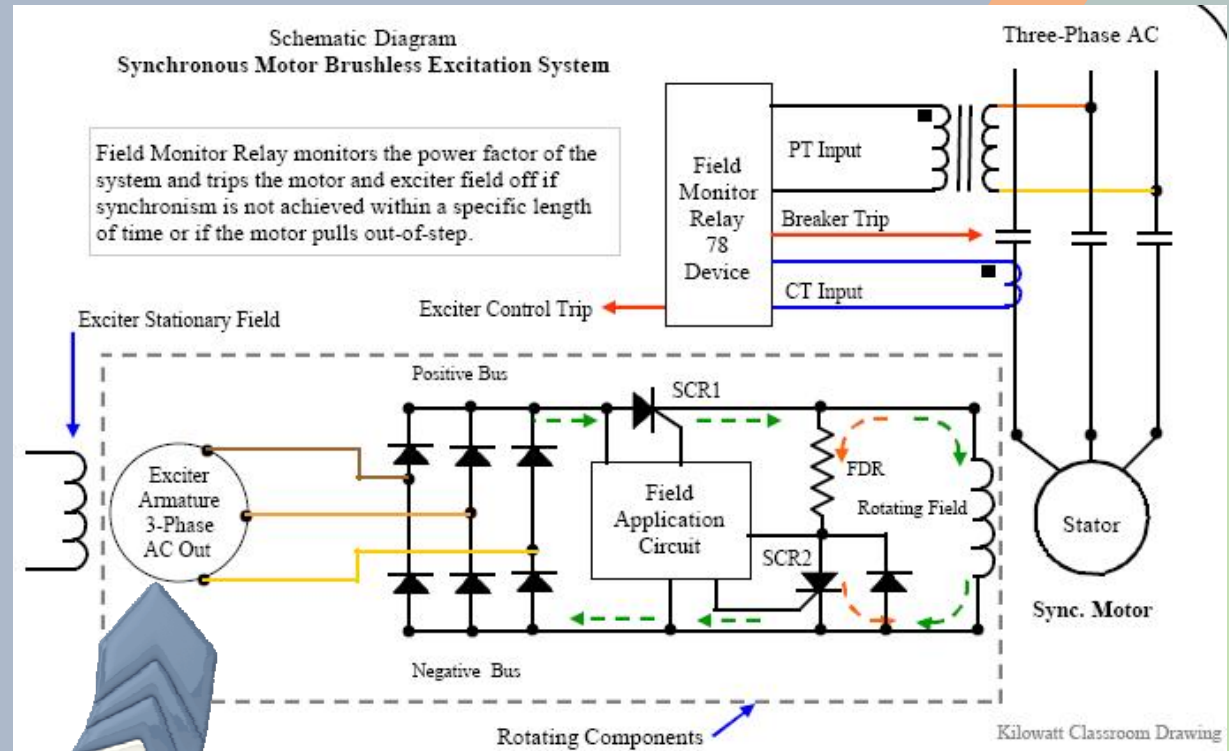


Sistem de excitație cu excitatrice (generator de c.c.)



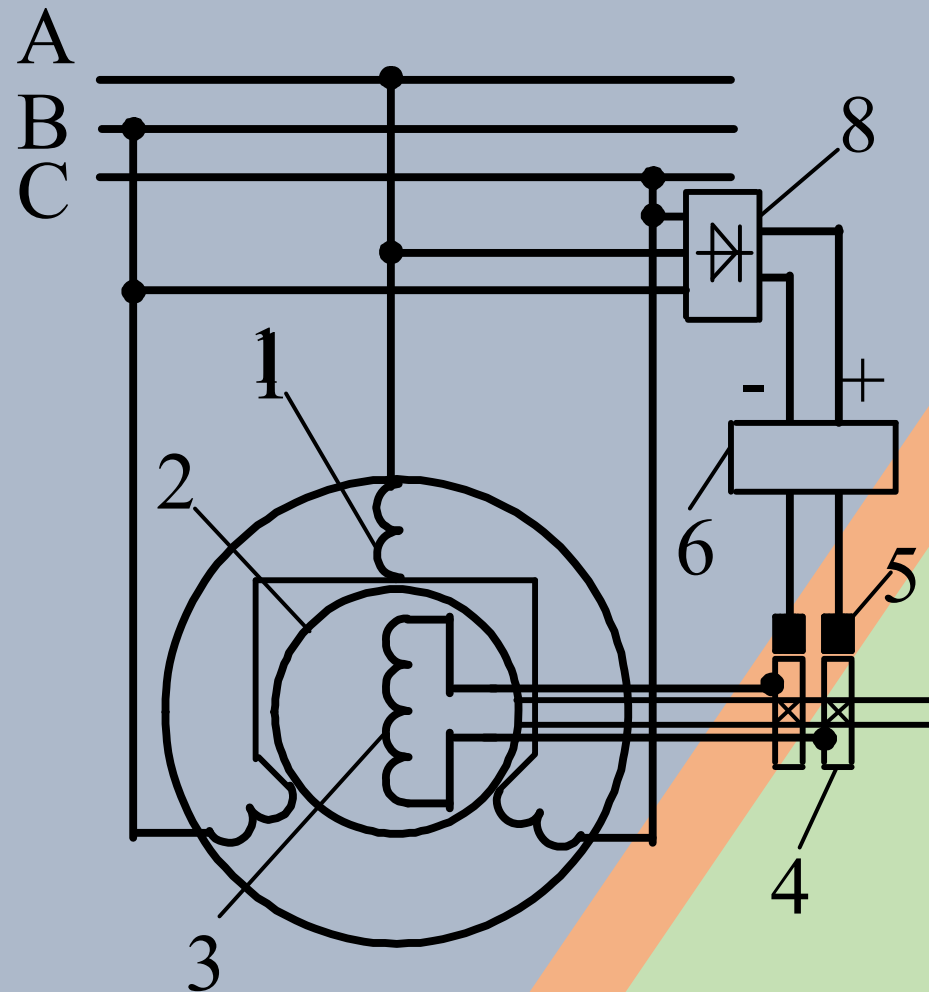
1.Înfășurare statorică, 2. Rotor generator sincron, 3. Înfășurare de excitație, 4. Inele rotorice, 5. Perii, 6. Regulator de tensiune, 7. Excitatoare

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



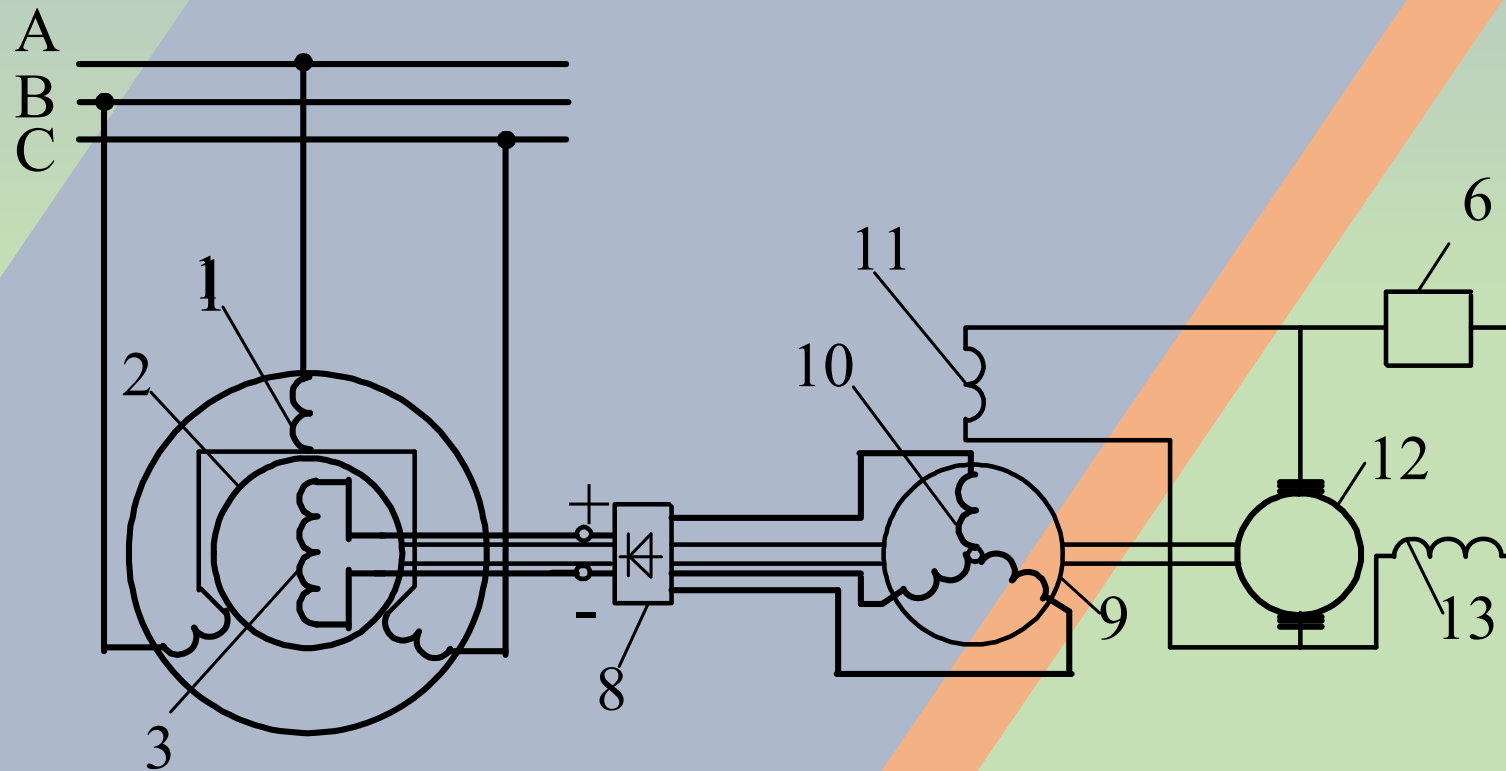
1189 729 BRUSHLESS EXCITER ROTOR AND RECTIFIER ASSEMBLY FOR SYNCHRONOUS MOTOR
 T3-22 POLE - 7000 HP - 327 RPM - 12000 VOLTS - 3 PHASE - 60 CYCLE - .8 PF
 WITH AR - 8 POLE - 50 KV - 125 V BRUSHLESS EXCITER, MOTOR DL 263K121,
 EXCITER DL 222K132, E310,1 E311,1 5-14-05

Sistem de excitație cu punte redresoare conectata la retea

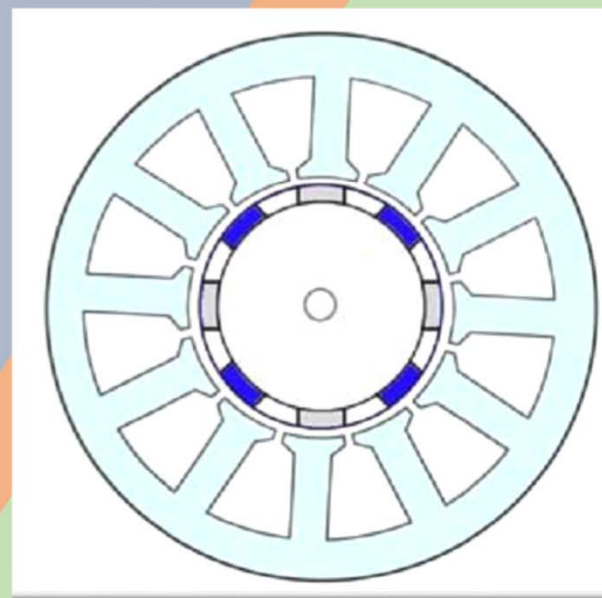
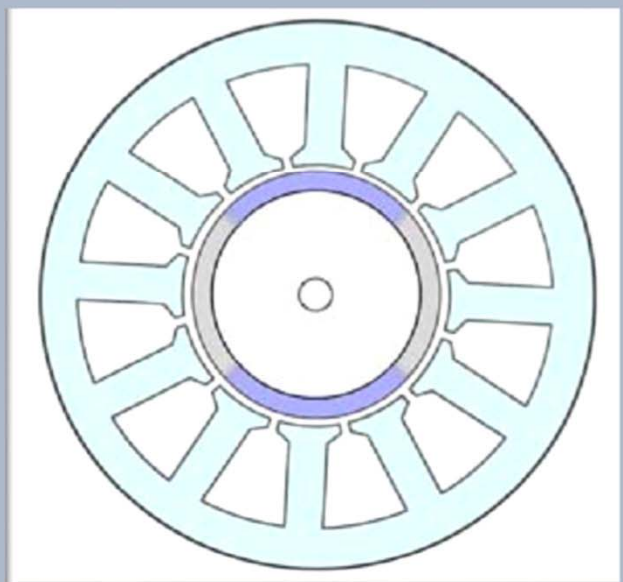
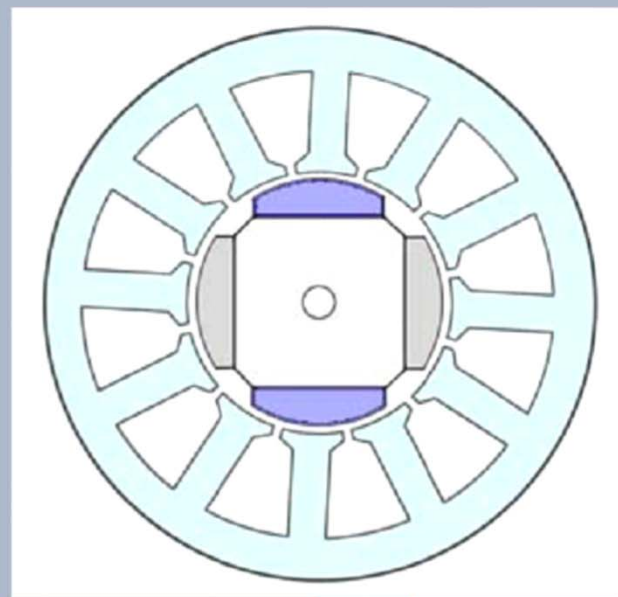
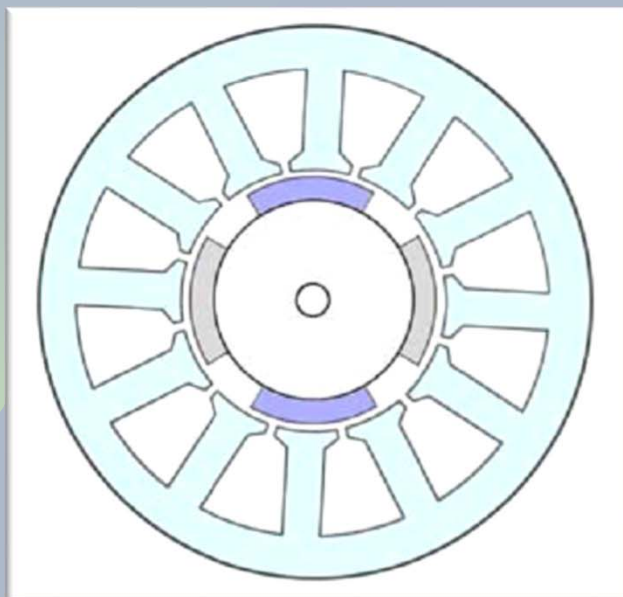


1.Înfășurare statorică, 2. Rotor generator sincron, 3. Înfășurare de excitație, 4. Inele rotorice, 5. Perii, 6. Regulator de tensiune, 8. Redresor.

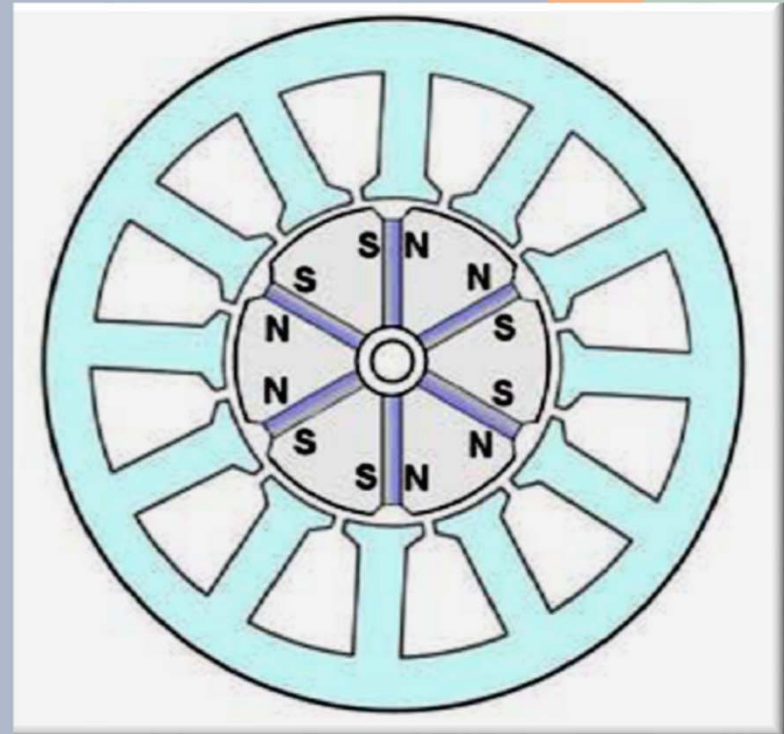
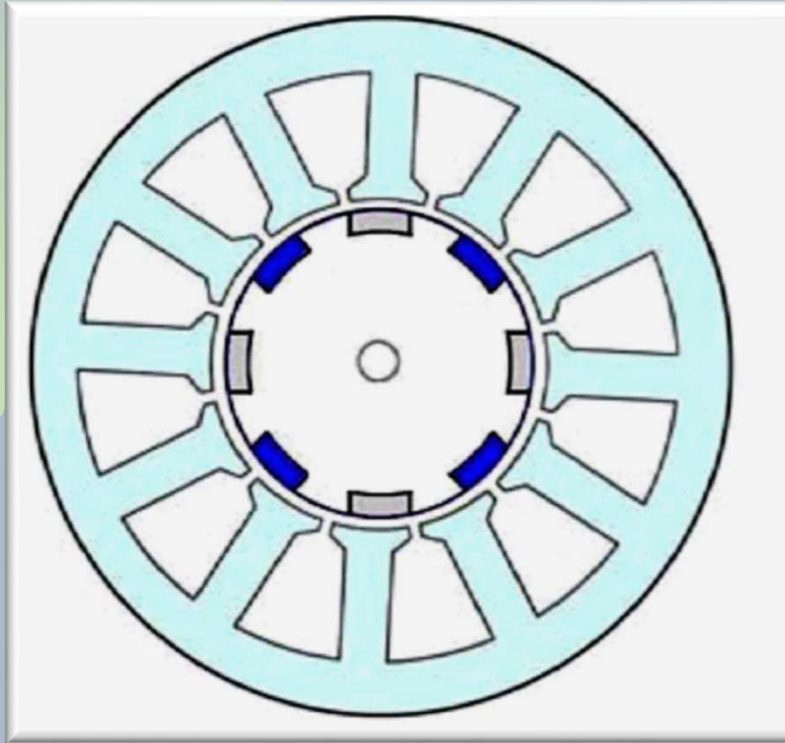
Sistem de excitație cu excitatoare, subexcitatoare și punte redresoare



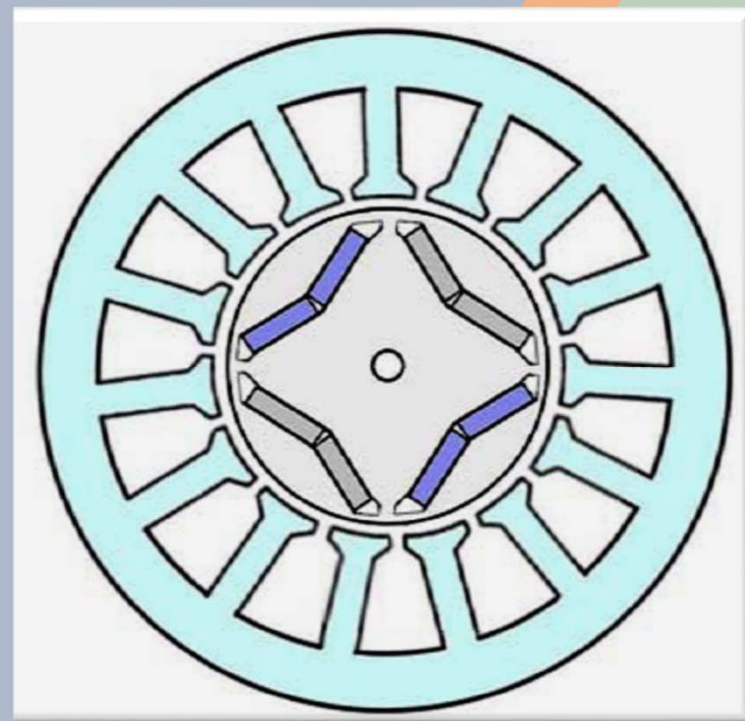
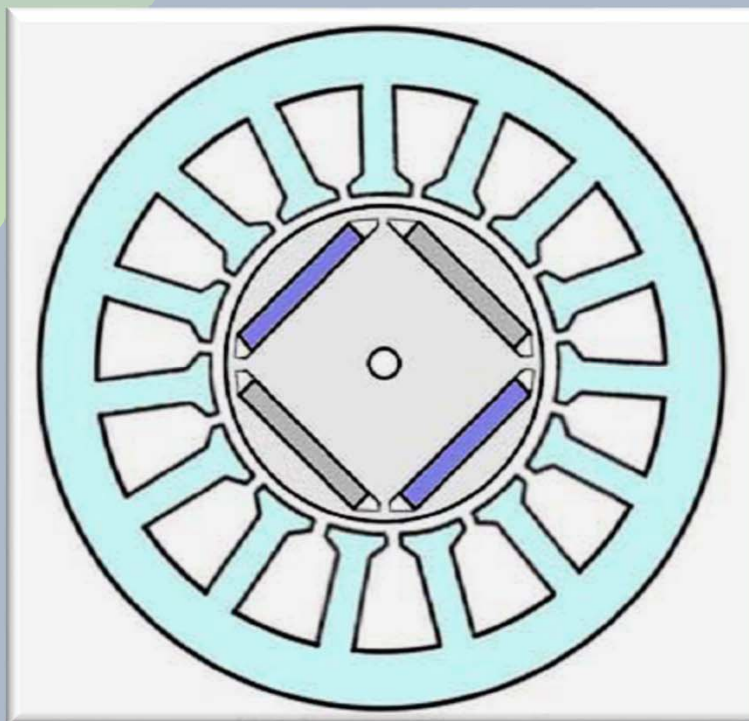
1.Înfășurare statorică, 2. Rotor generator sincron, 3. Înfășurare de excitație, 6. Regulator de tensiune, 8. Redresor, 9. Rotor excitatoare, 10. Înfășurare indusă a excitatoarei, 11. Înfășurare de excitație a excitatoarei, 12. Subexcitatoare, 13. Înfășurare de excitație a subexcitatoarei.



Excitație cu magneți permanenți plasați pe suprafața rotorului



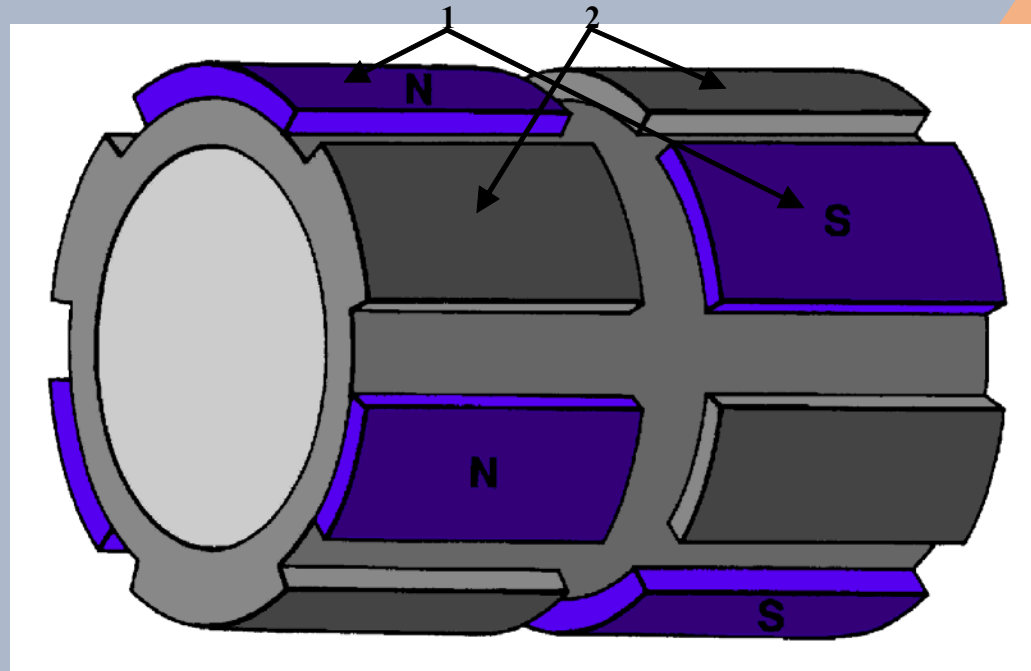
Excitație cu magneți permanenți plasați la periferia rotorului si tip spiță



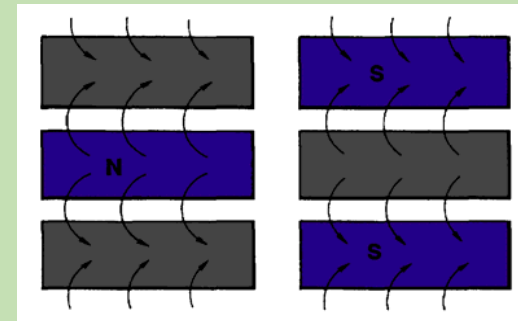
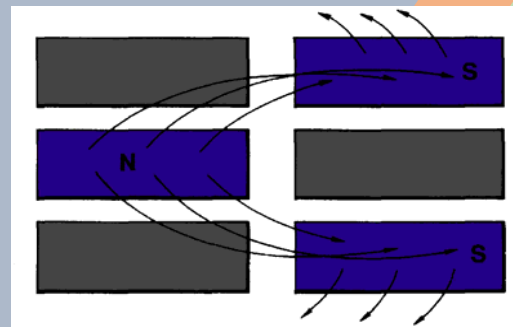
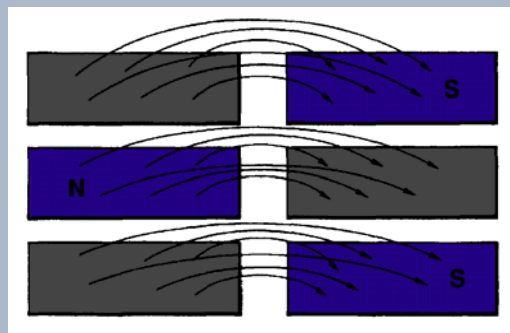
Excitație cu magneți permanenți plasați la interiorul rotorului

Generator sincron cu excitație hibrida

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

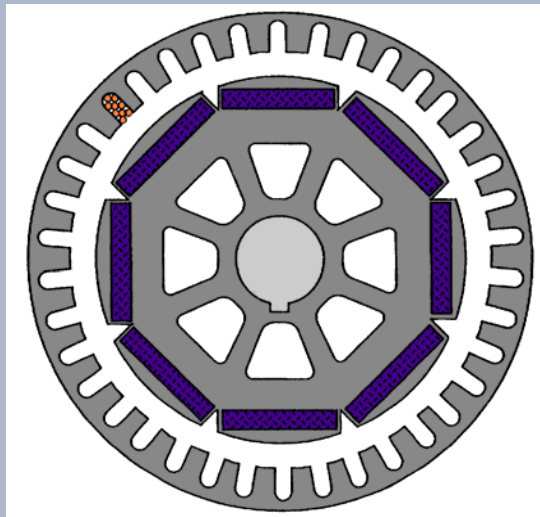
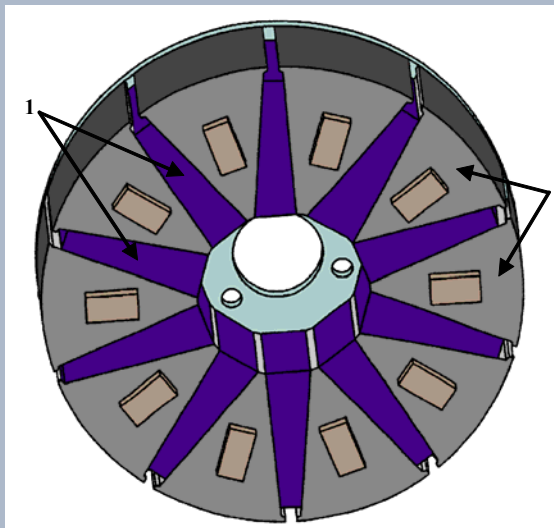
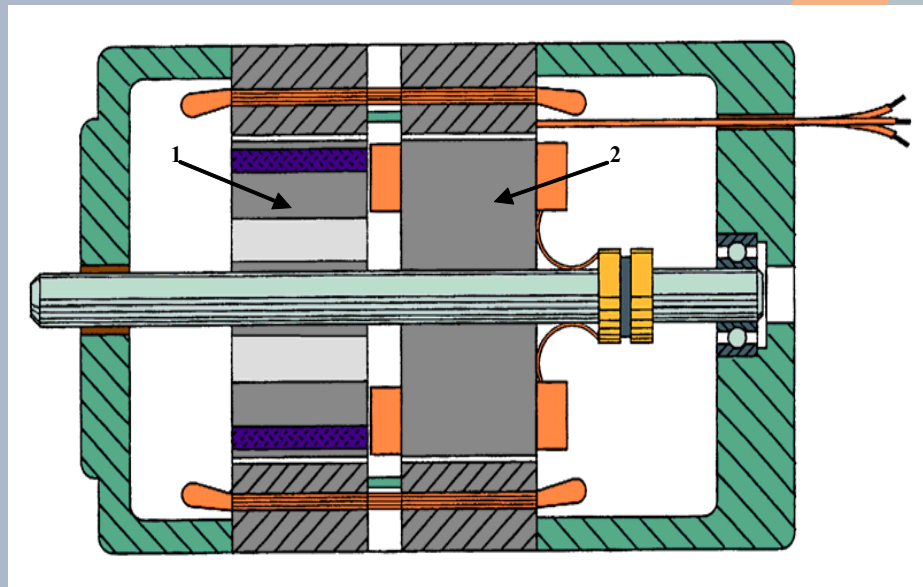


rotor

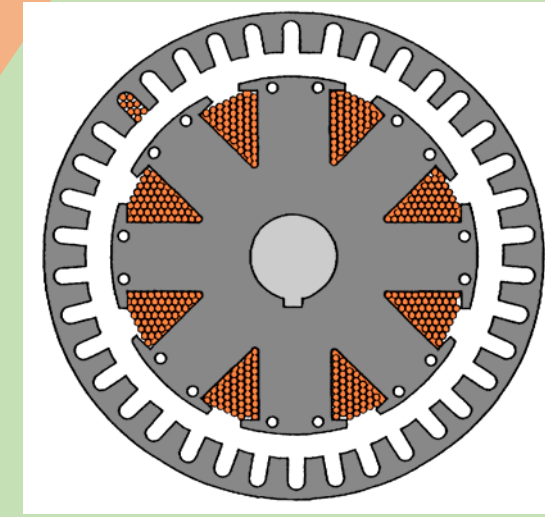


Generator sincron cu excitație hibrida cu doua rotoare

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



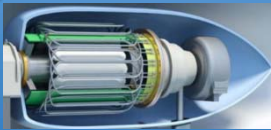
rotor cu MP



rotor cu excitație electromagnetica

5

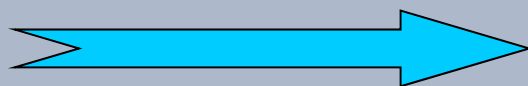
Mașini supraconductoare



1911: Kammerlingh Onnes descoperă fenomenul de supraconductivitate:

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

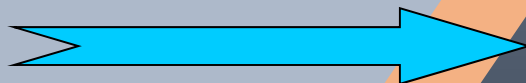
LTS wires



~ 4K

Aluminiu	1.2 K
Mercur	4.2 k

HTS wires



> 77K

$\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$	133 K
---	-------

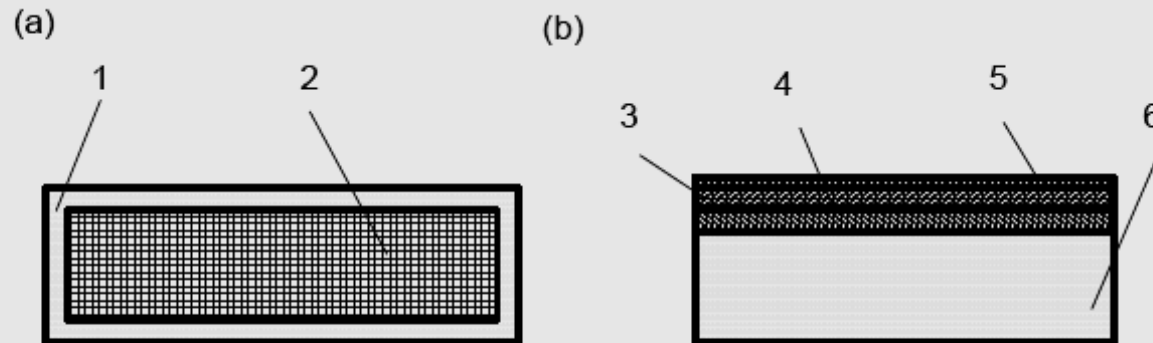


Fig. 2.16. HTS wires: (a) 1st generation (1G); (b) 2nd generation (2G). 1 — silver alloy matrix, 2 — SC filaments, 3 — SC coating, 4 — buffer layer, 5 — noble metal layer, 6 — alloy substrate.

- *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.

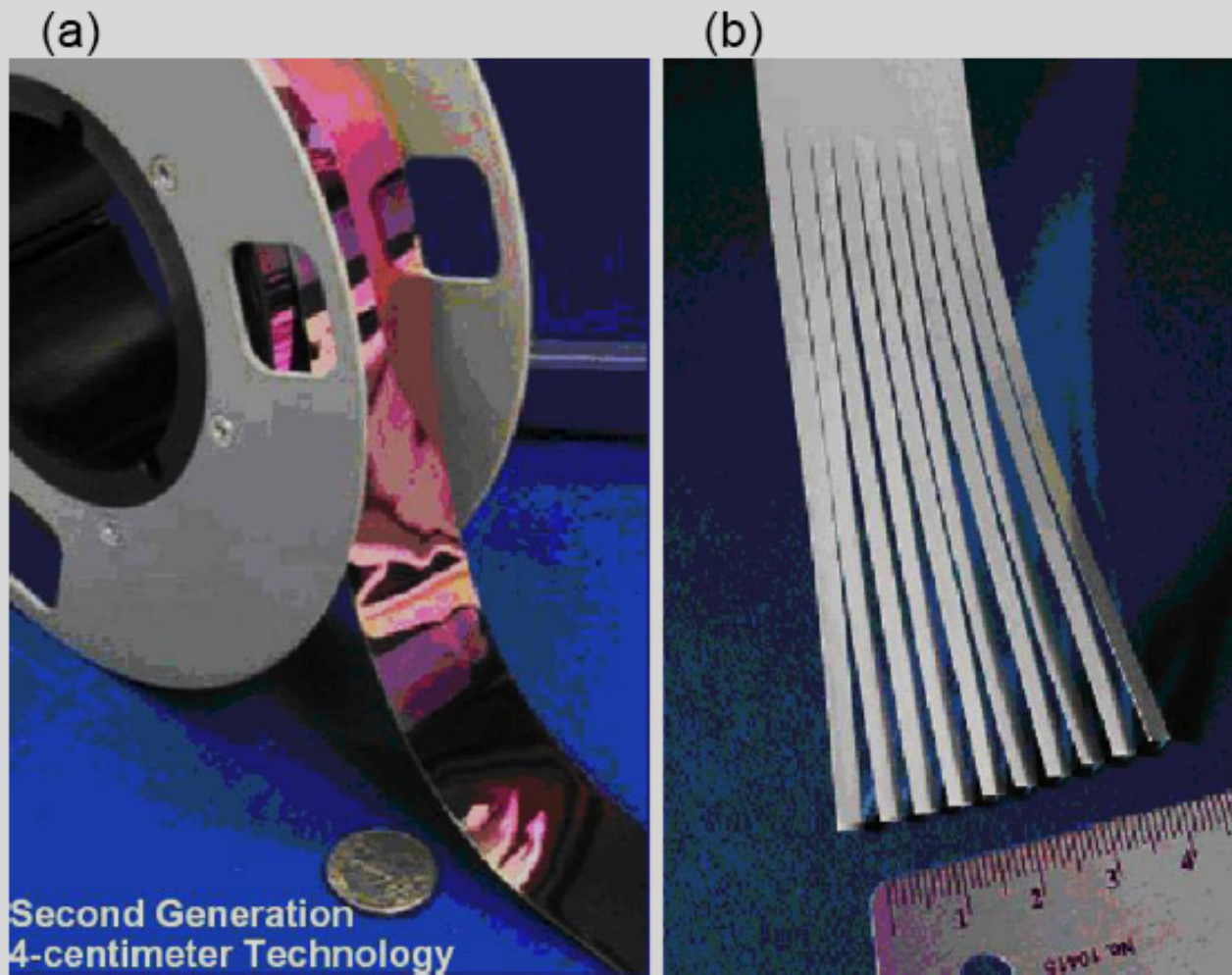


Fig. 2.17. Second generation (2G) 4 cm technology: (a) 4 cm wide strip; (b) strip cut into 4 mm tapes. Photo courtesy *American Superconductors* [9].

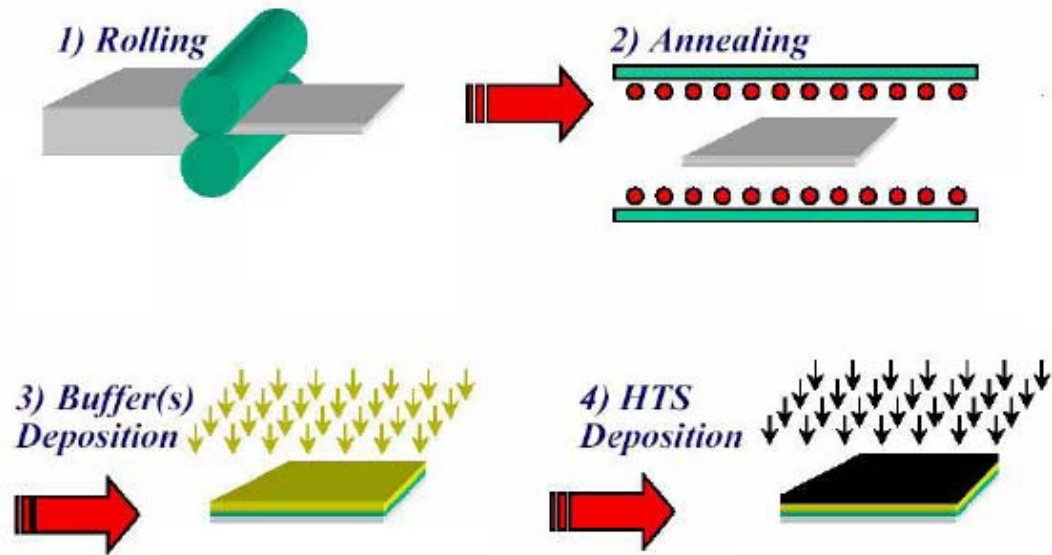


Fig. 2.18. High-speed, continuous reel-to-reel deposition process RABITS. Courtesy of *American Superconductors* [9].

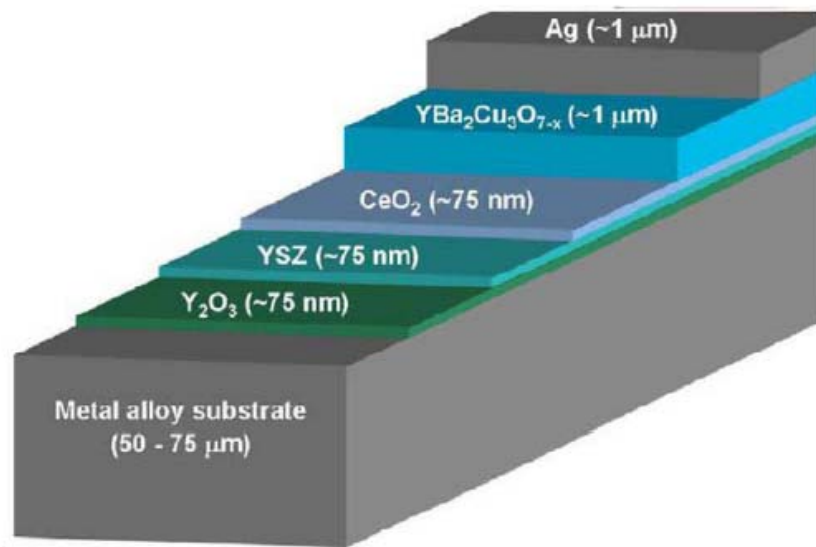


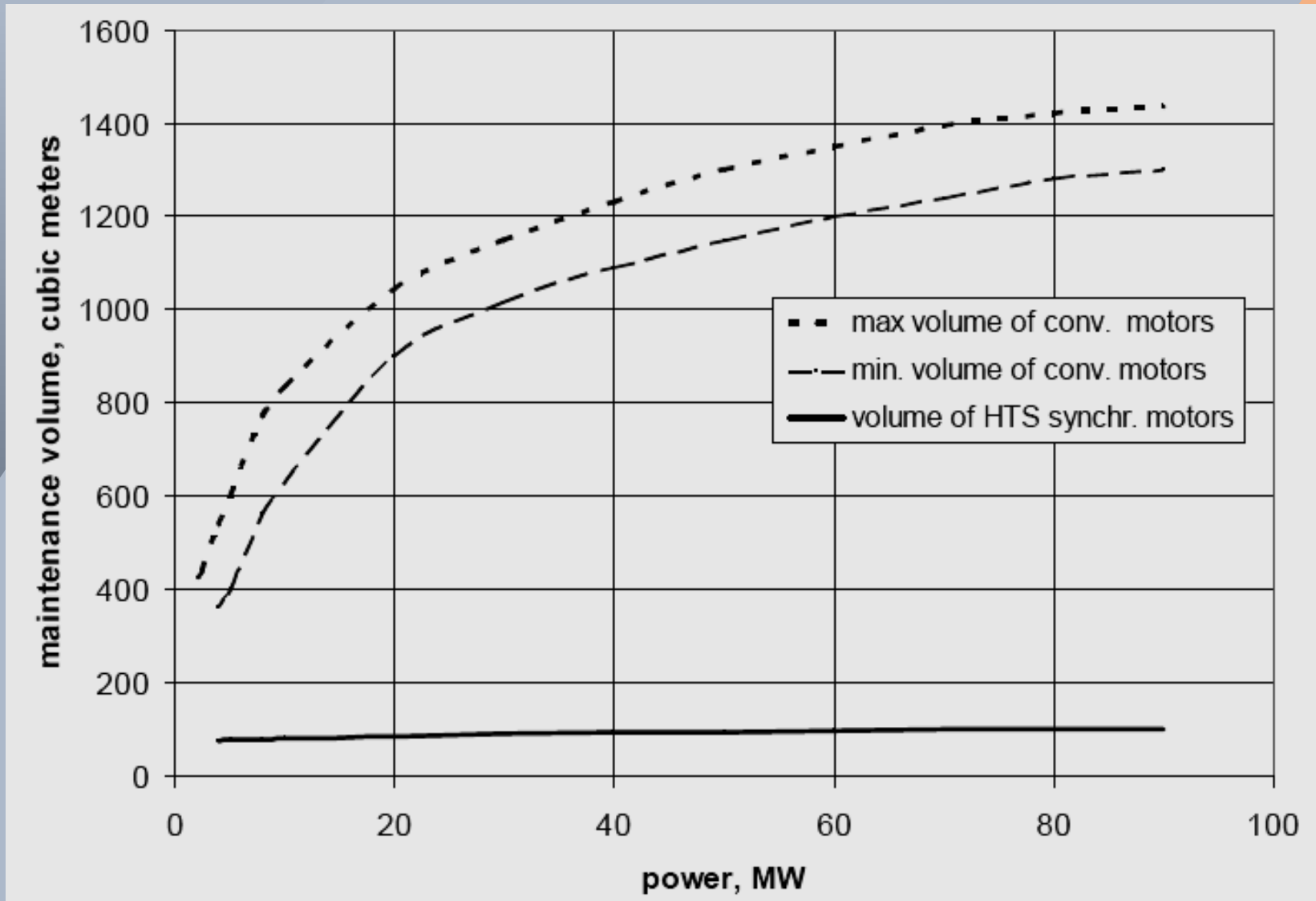
Fig. 2.19. RABITS/MOD 2G HTS architecture. Courtesy of *American Superconductors* [9].

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 the left side of the frame, holding a large rectangular sign. The sign is light gray with a dark border and contains the text 'Low speed HTS machines' in a blue, sans-serif font. The background is a gradient of blue and gray, with a prominent orange diagonal stripe running from the bottom left towards the top right.

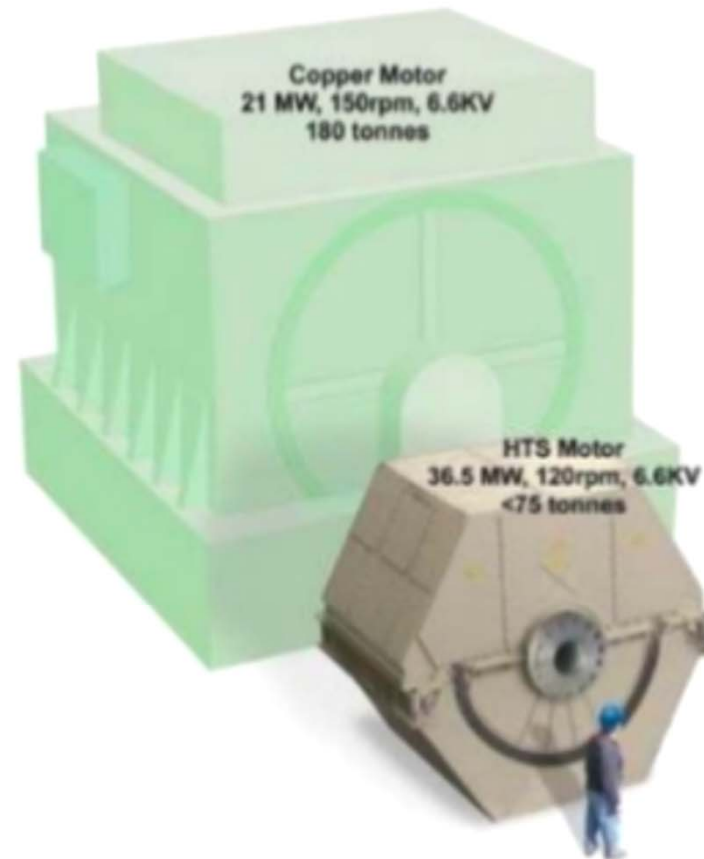
**Low speed
HTS machines**

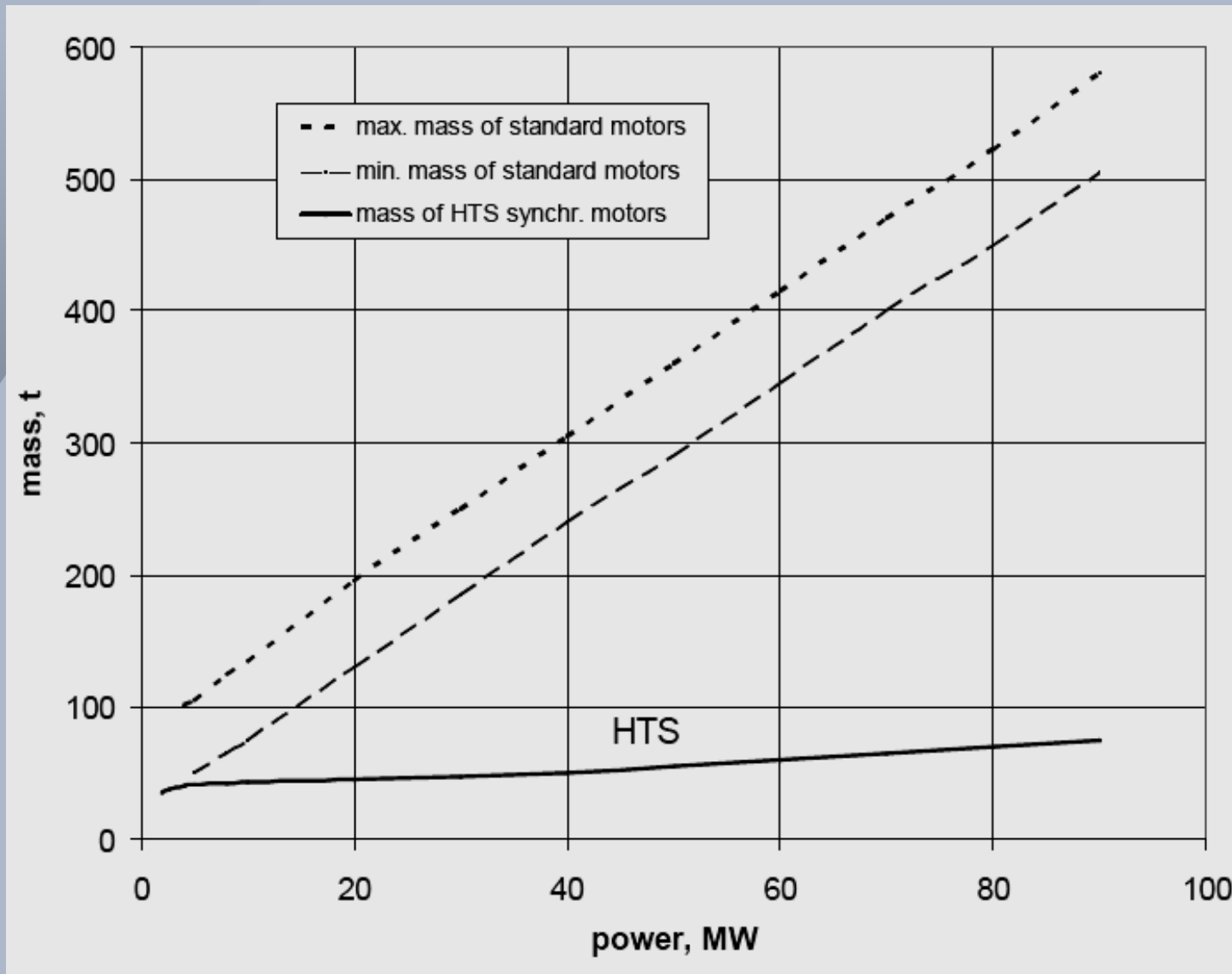


Volum = f(Putere) pentru "HTS synchronous motors" destinate propulsiei navale

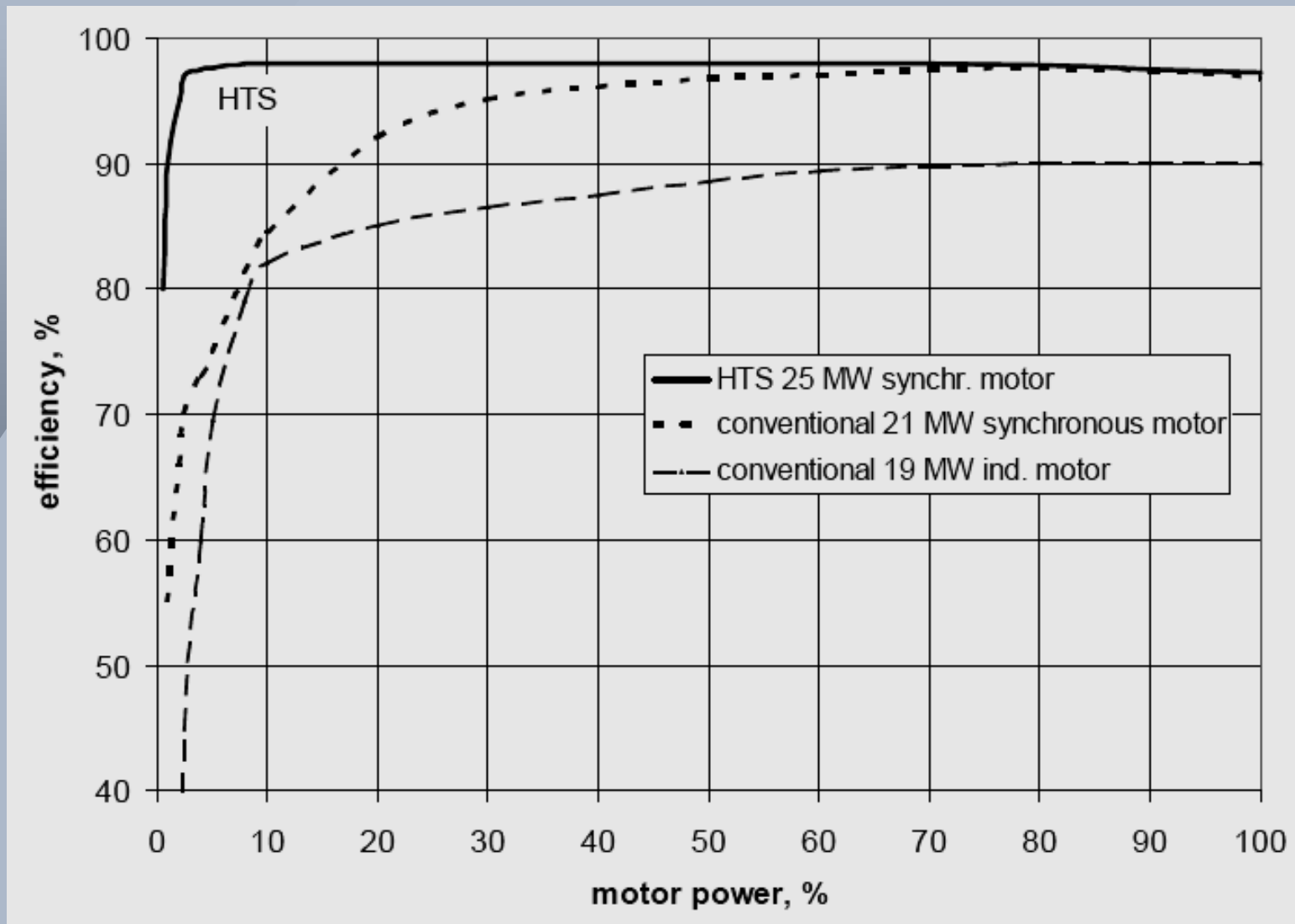


□ 36.5 MW, 120 rpm (U.S. Navy, AMSC)

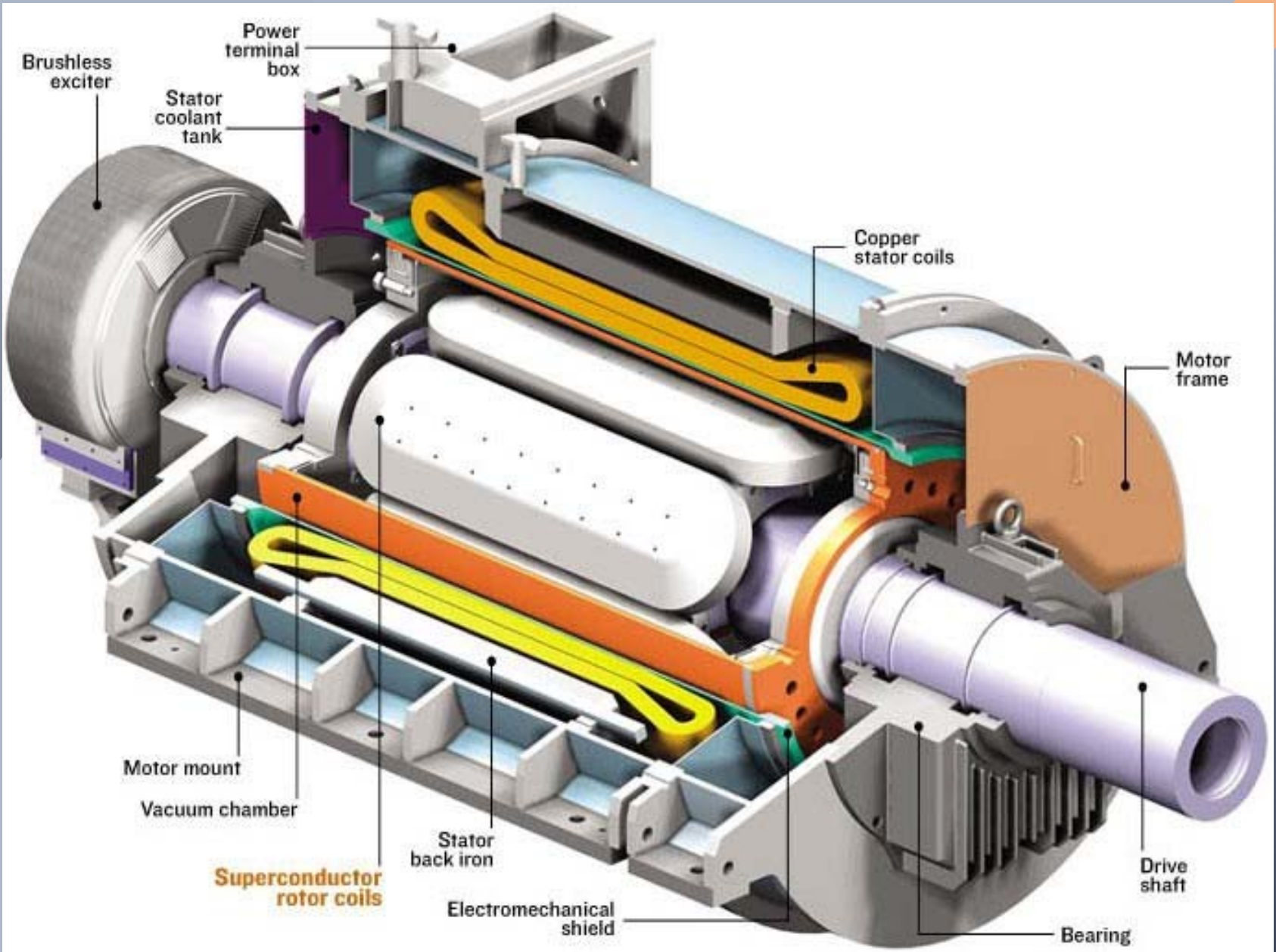




Masa = f(Putere) pentru "HTS synchronous motors" destinate propulsiei navale



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



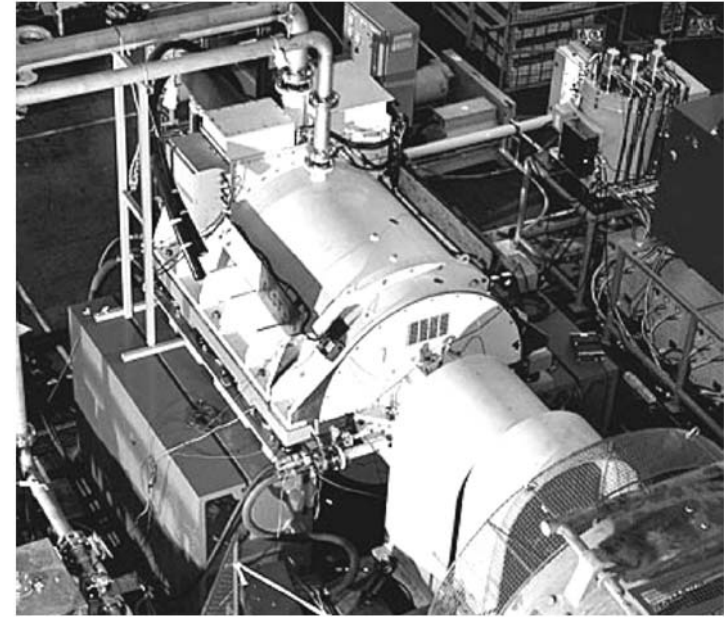


Fig. 8.5. General view of the 5 MW synchronous motor with HTS rotor for ship propulsion under tests at *Alstom* facility in Rugby, U.K. Photo courtesy of *American Superconductors*, MA, U.S.A. [9].



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].

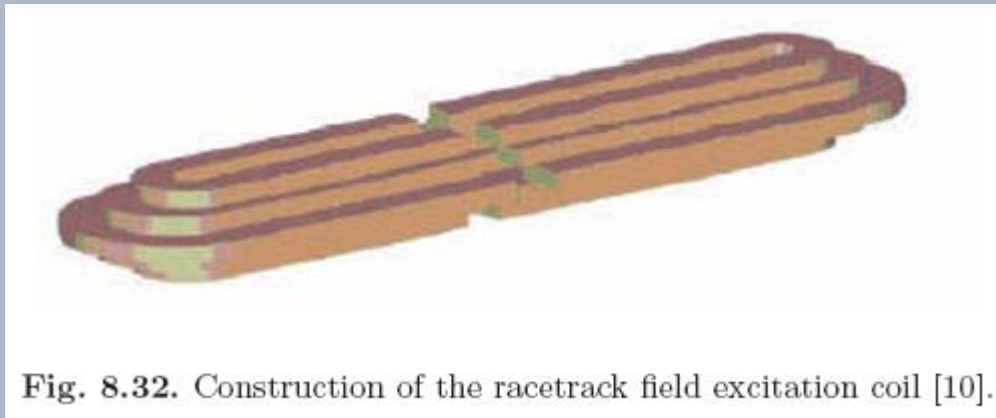


Fig. 8.32. Construction of the racetrack field excitation coil [10].

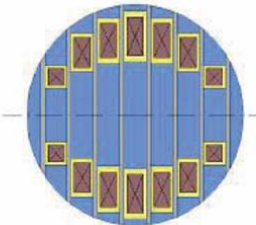


Fig. 8.33. Rotor with field excitation winding [10].

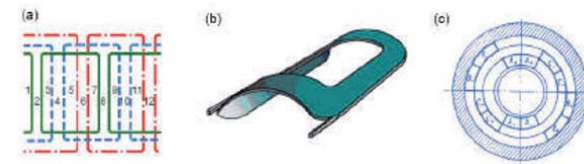
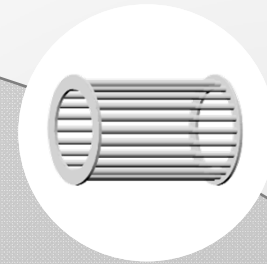
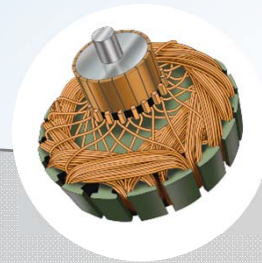
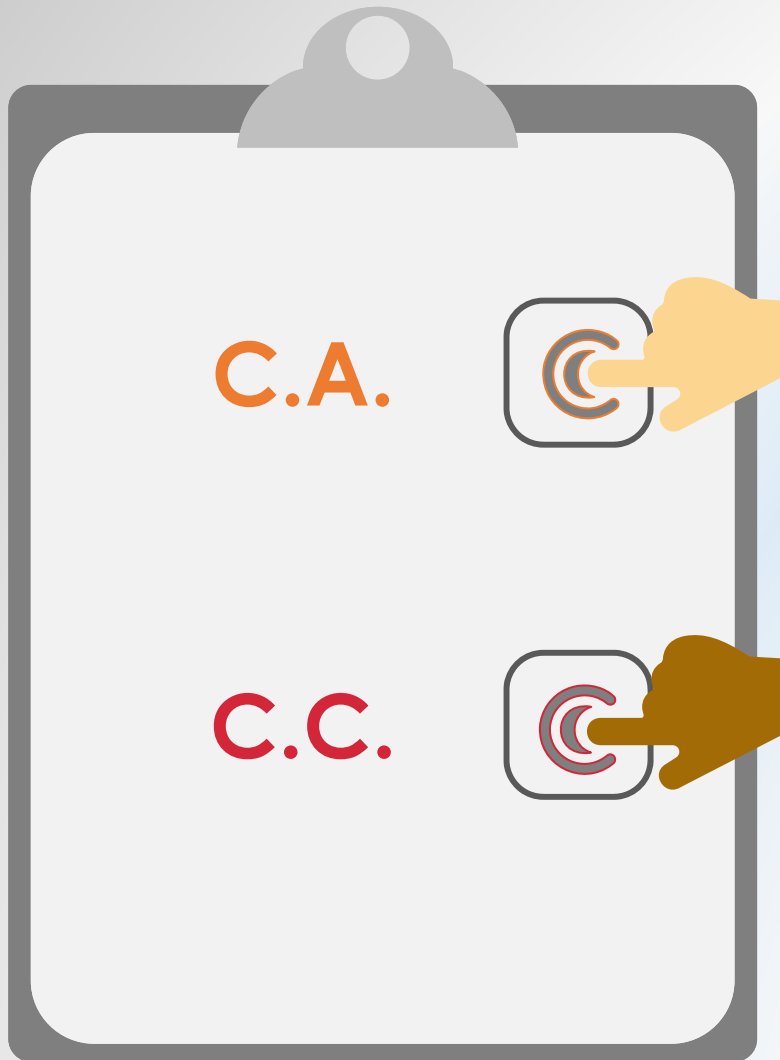


Fig. 8.34. Slotless saddle-type stator winding: (a) two-pole, three-phase winding diagram; (b) saddle-type coil shape; (3) cross section of the three-layer stator winding [10].

Înfășurările mașinilor electrice



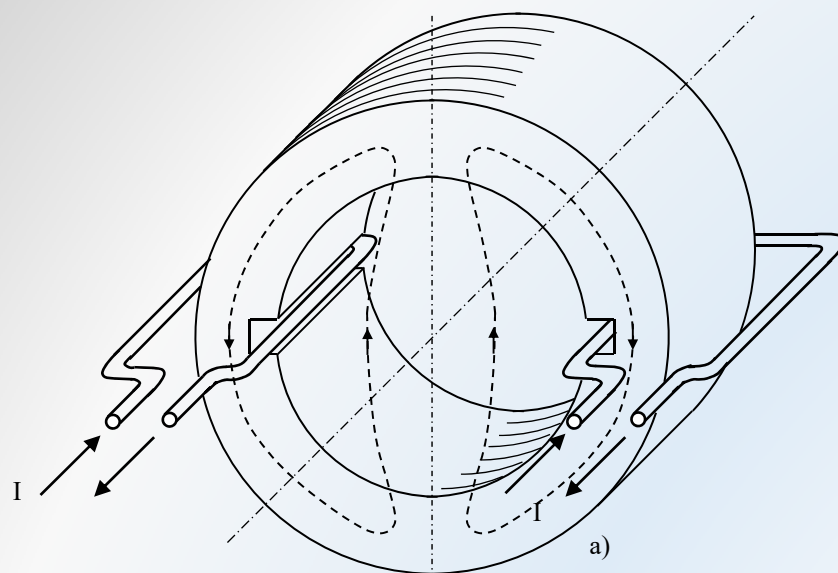
CLASIFICARE



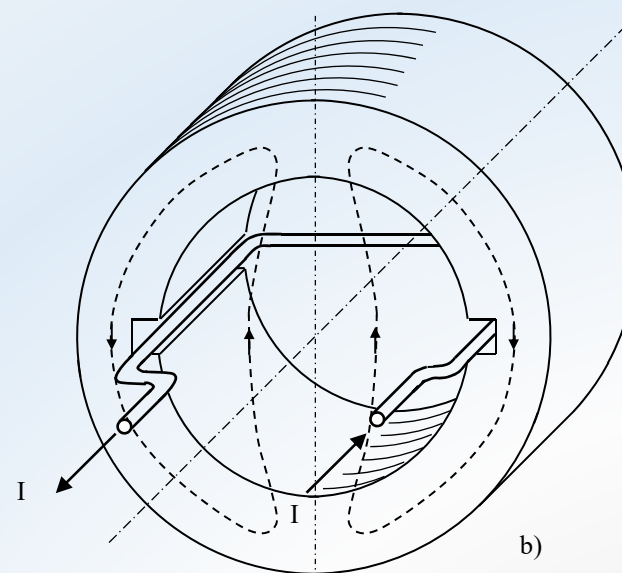
Înfășurări de curent alternativ.

Înfășurări de curent continuu.

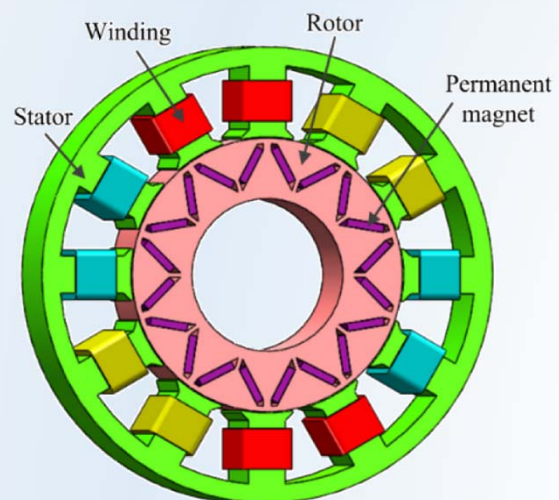
Înfășurări inductoare în mașinile de c.a.



a) Înfășurare în inel (toroidală)



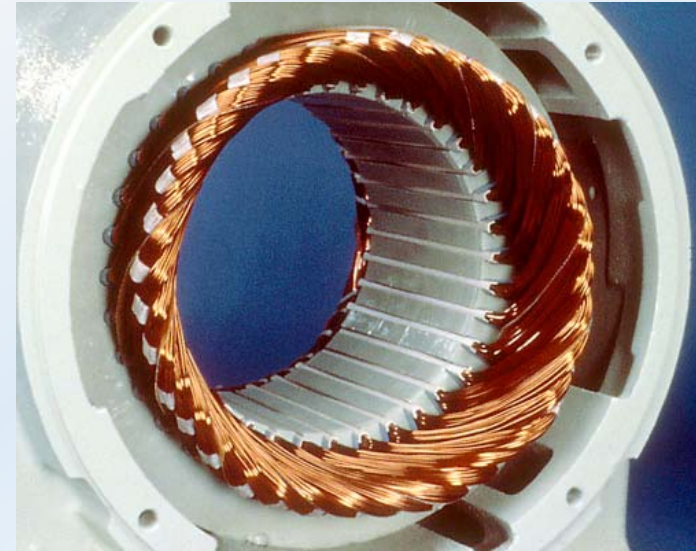
b) Înfășurare în tobă



c) Înfășurare concentrată pe dinte



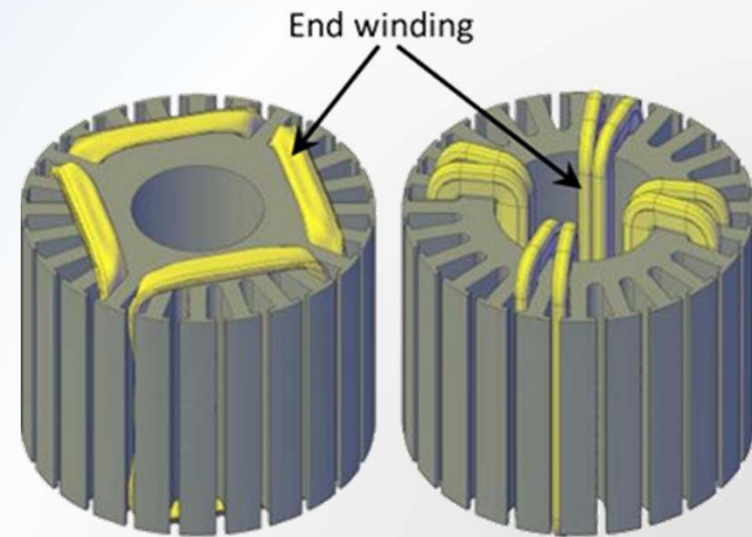
a) Înfășurare în inel (toroidală)



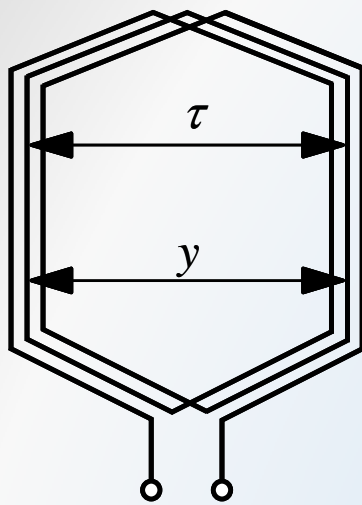
b) Înfășurare în tobă



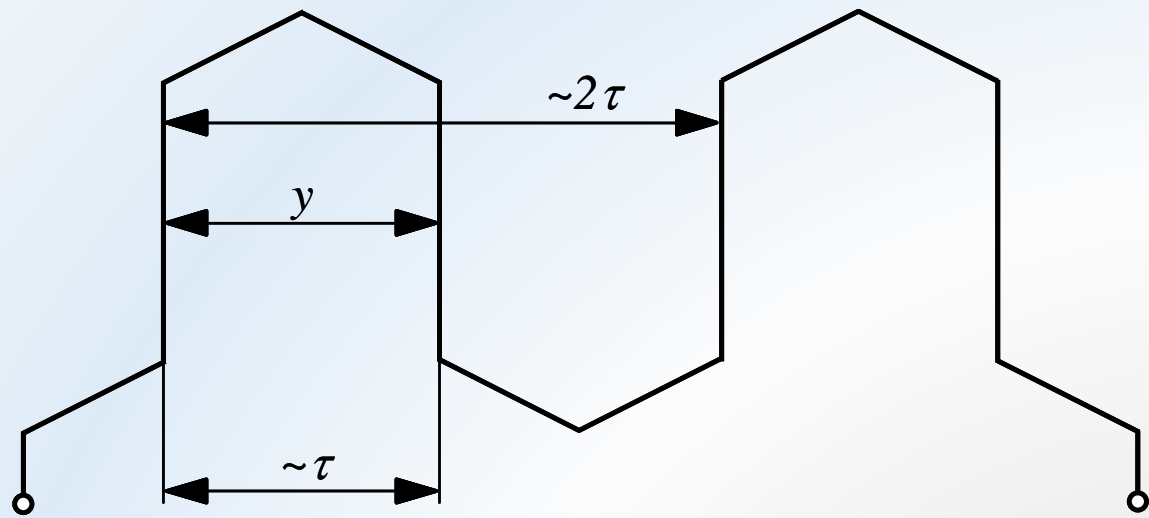
c) Înfășurare concentrată pe dinte



d) Înfășurare în toba și în inel



a) $w_s=3$ (buclată)



b) $w_s=1$ (ondulată)

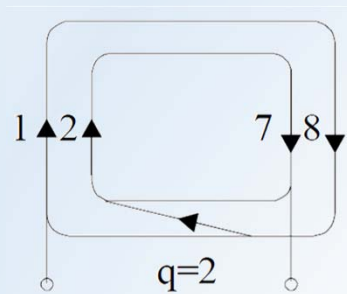
Tipuri de bobine pentru înfășurări de c.a.

CLASIFICARE

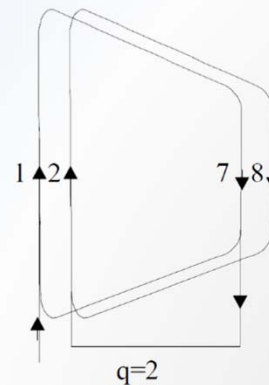
I. Dupa tipul bobinelor

➤ Bobine egale

➤ Bobine concentrice



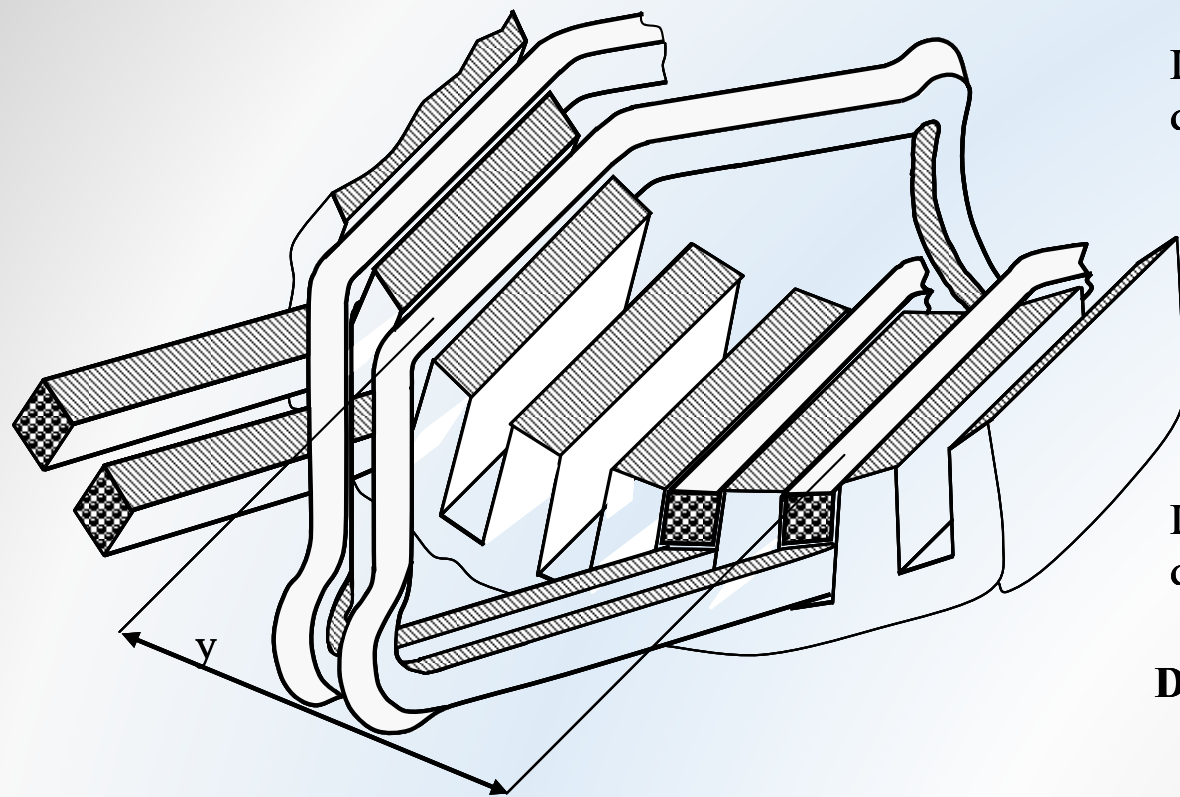
➤ Bobine trapezoidale



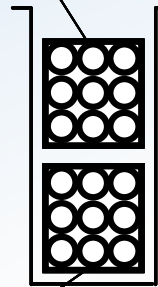
➤ Bobine in manta

II. După numărul de straturi ale înfășurării

- **Înfășurări într-un singur strat (in fiecare crestătura este plasata *o singură* latură de bobină);**
- **Înfășurări in două straturi (in 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 creștături statorice
- $2p$ – numărul de poli
- m – numărul de faze

Date calculate:

- Q – numărul de creștături pe pol

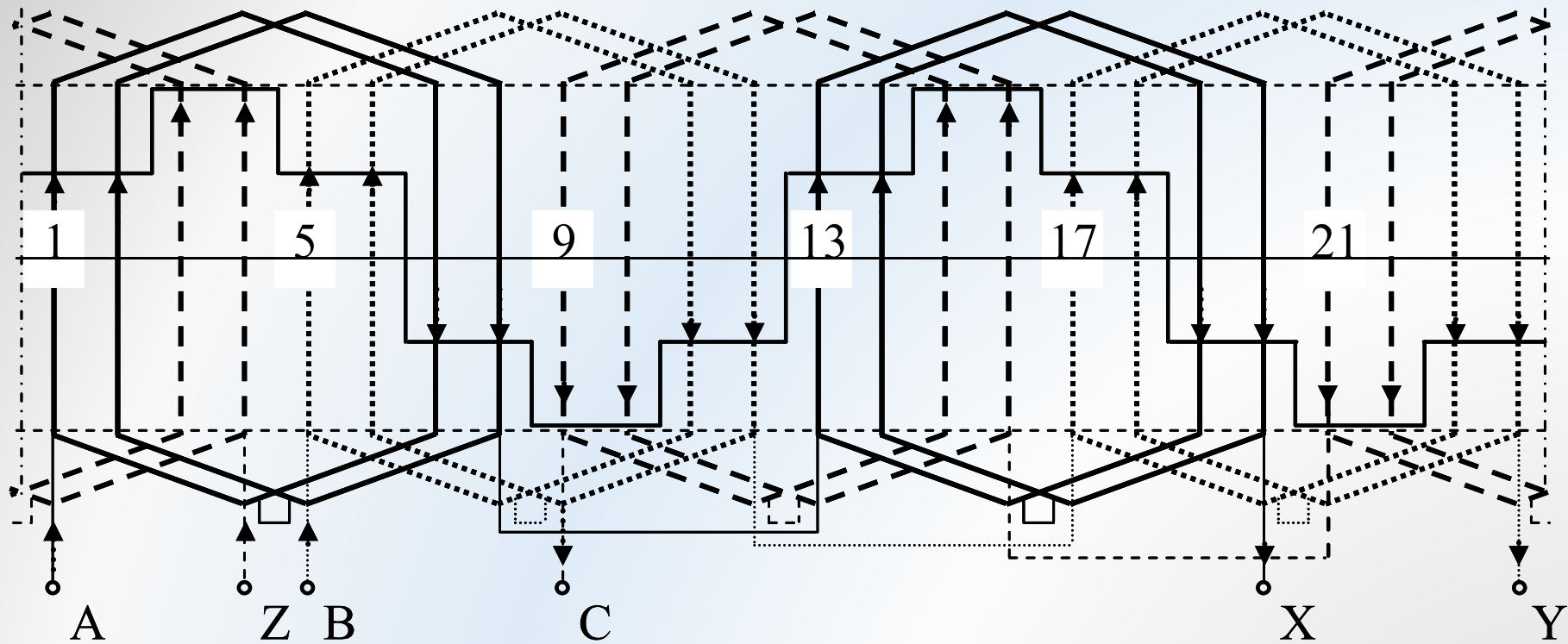
$$Q = \frac{Z}{2p}$$

- q – numărul de creștături pe pol și fază

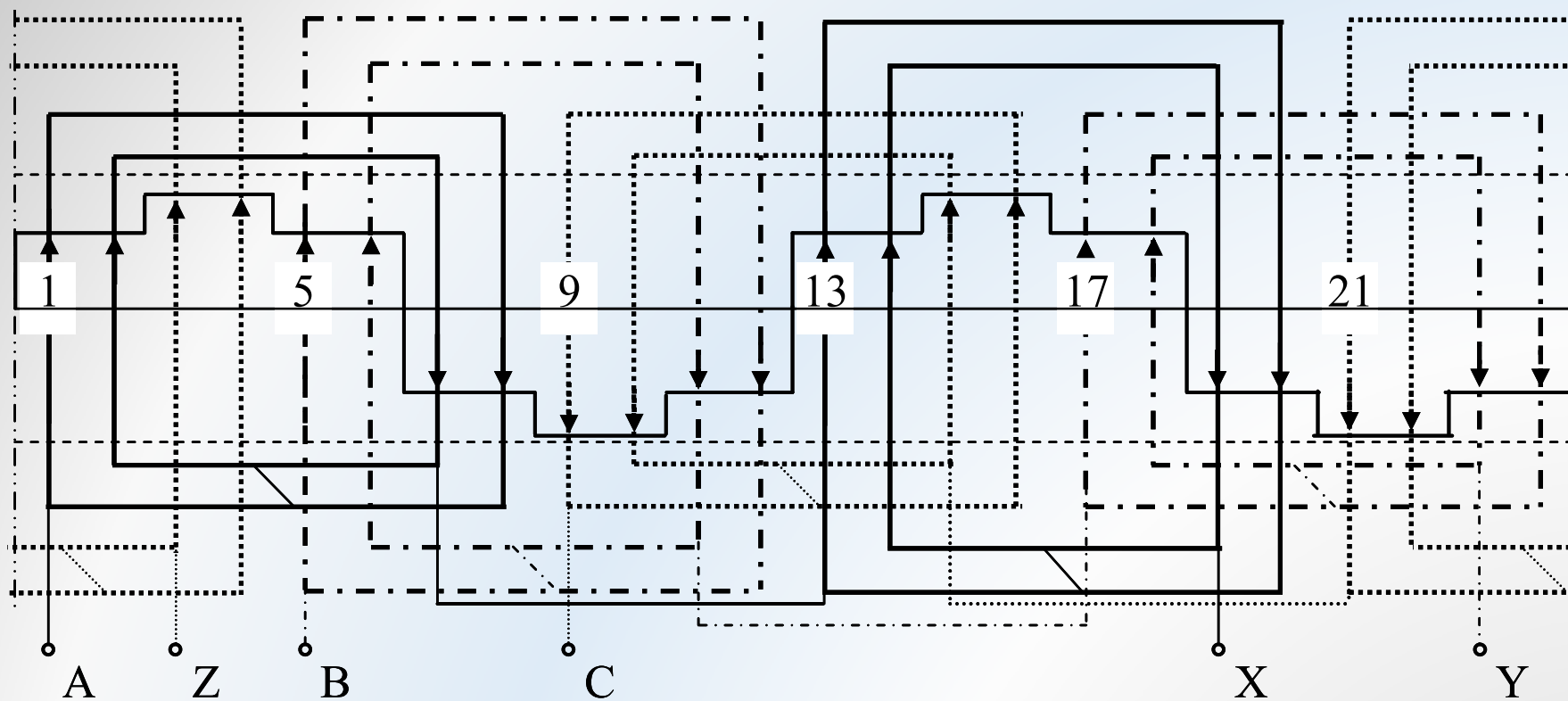
$$q = \frac{Z}{2pm}$$

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

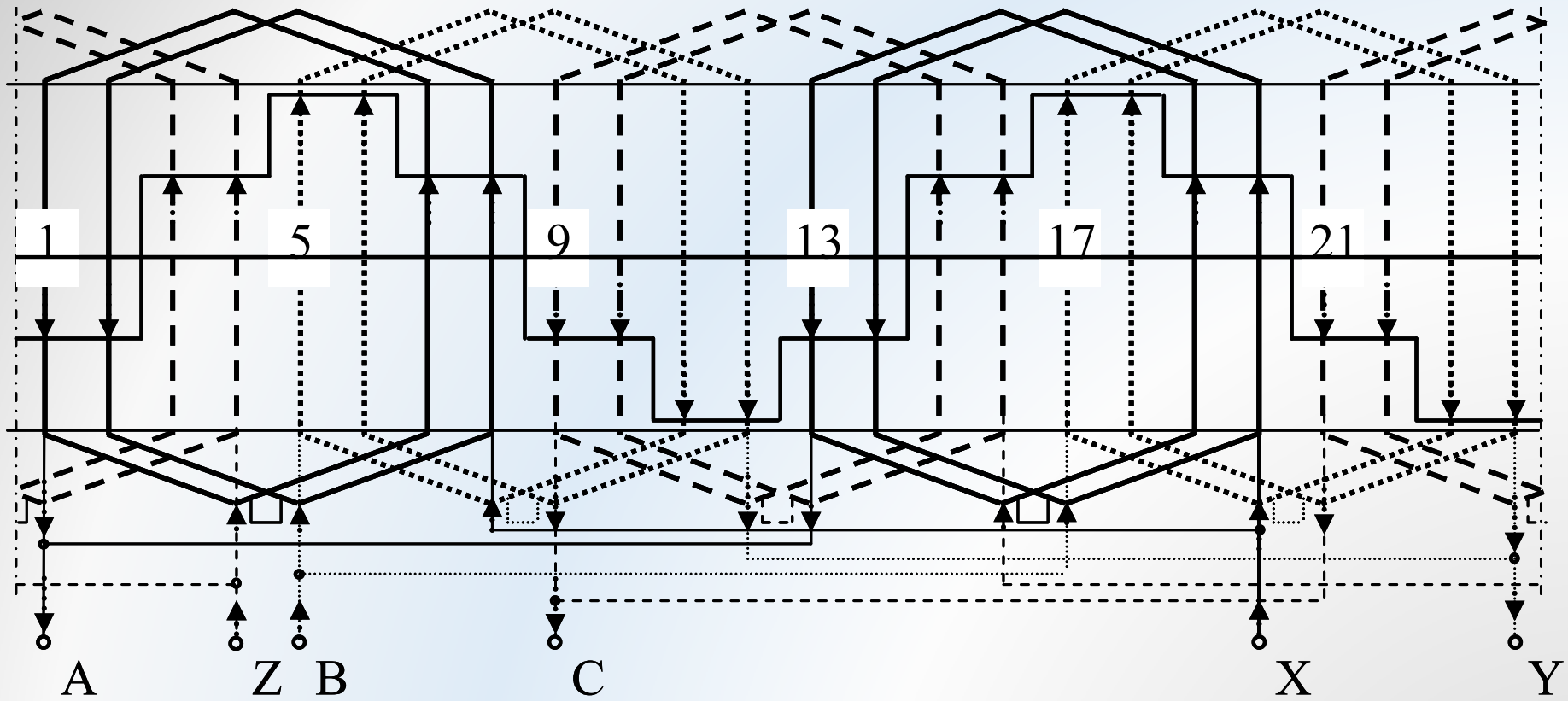
- unghiul electric al fazorilor $\alpha_{el} = \frac{2\pi}{Z} \cdot p = \frac{360}{Z} \cdot p$



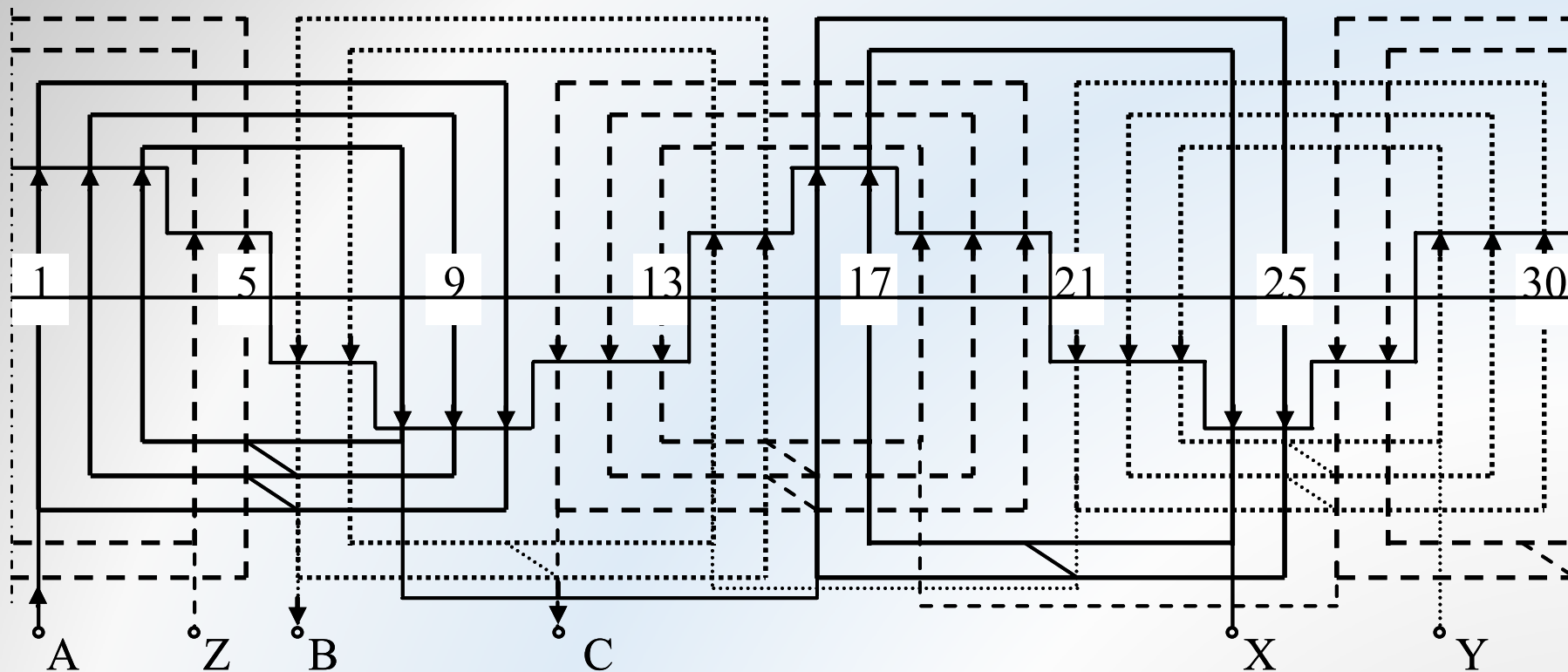
Înfășurare trifazată cu bobine identice (în manta): $Z=24$, $2p=4$, $a=1$
 $Q=24/4=6$; $q=24/12=2$; $y=\tau=24/4=6$



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

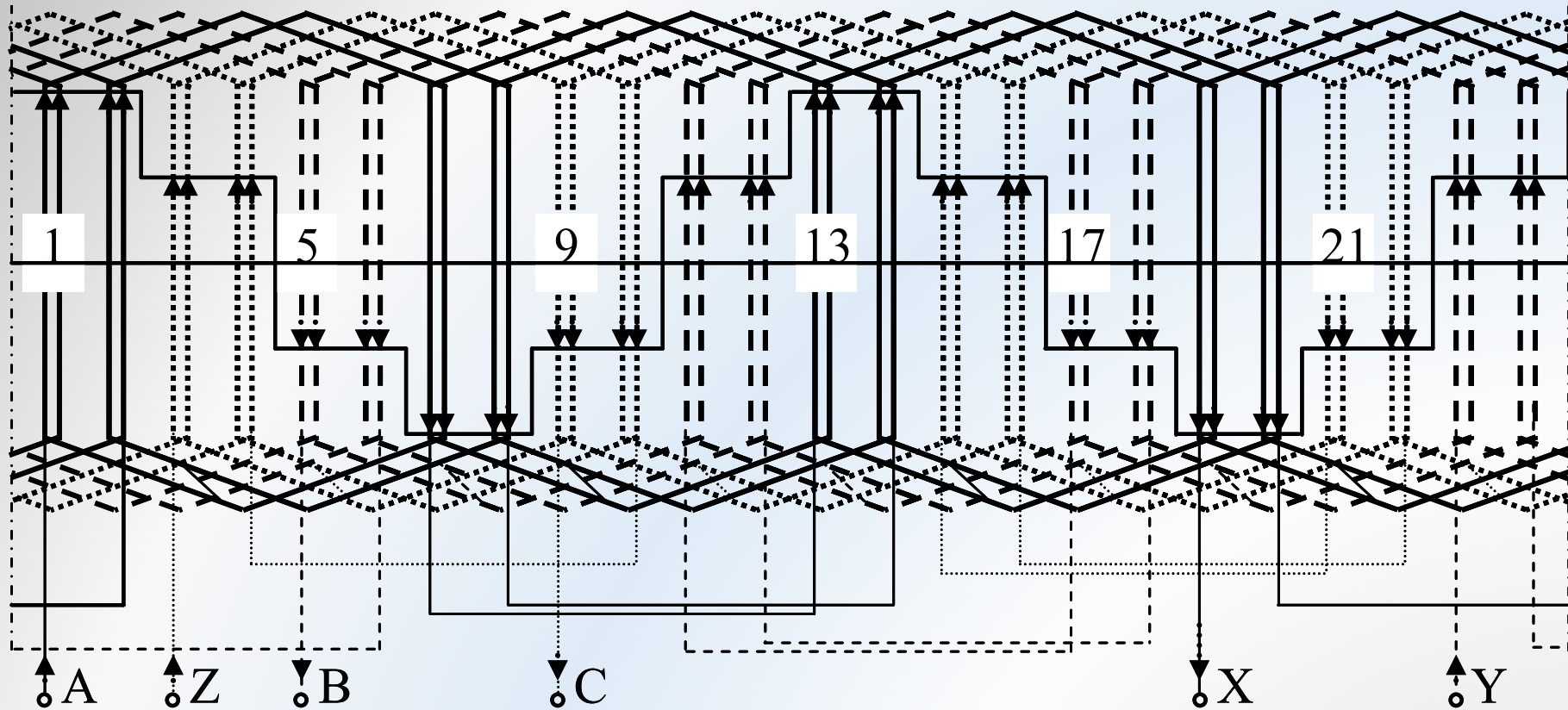


Înfășurare trifazată cu bobine identice (în manta): $Z=24$, $2p=4$, $a=2$



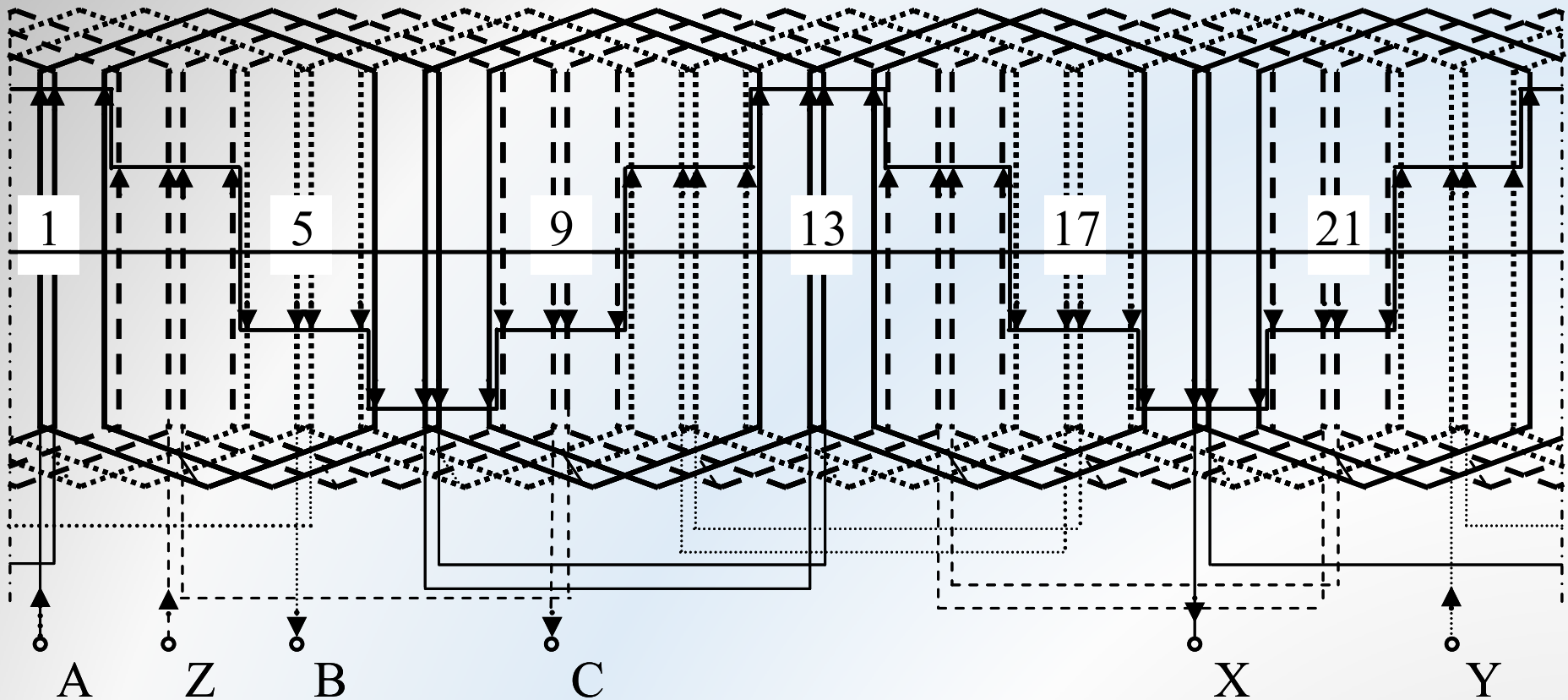
Înfășurare trifazată cu q fracționar (2,5) într-un strat: $Z=30$, $2p=4$
 $Q=30/4=7,5$; $q=30/12=2,5$; $y=\tau=30/4=7,5$

- 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.



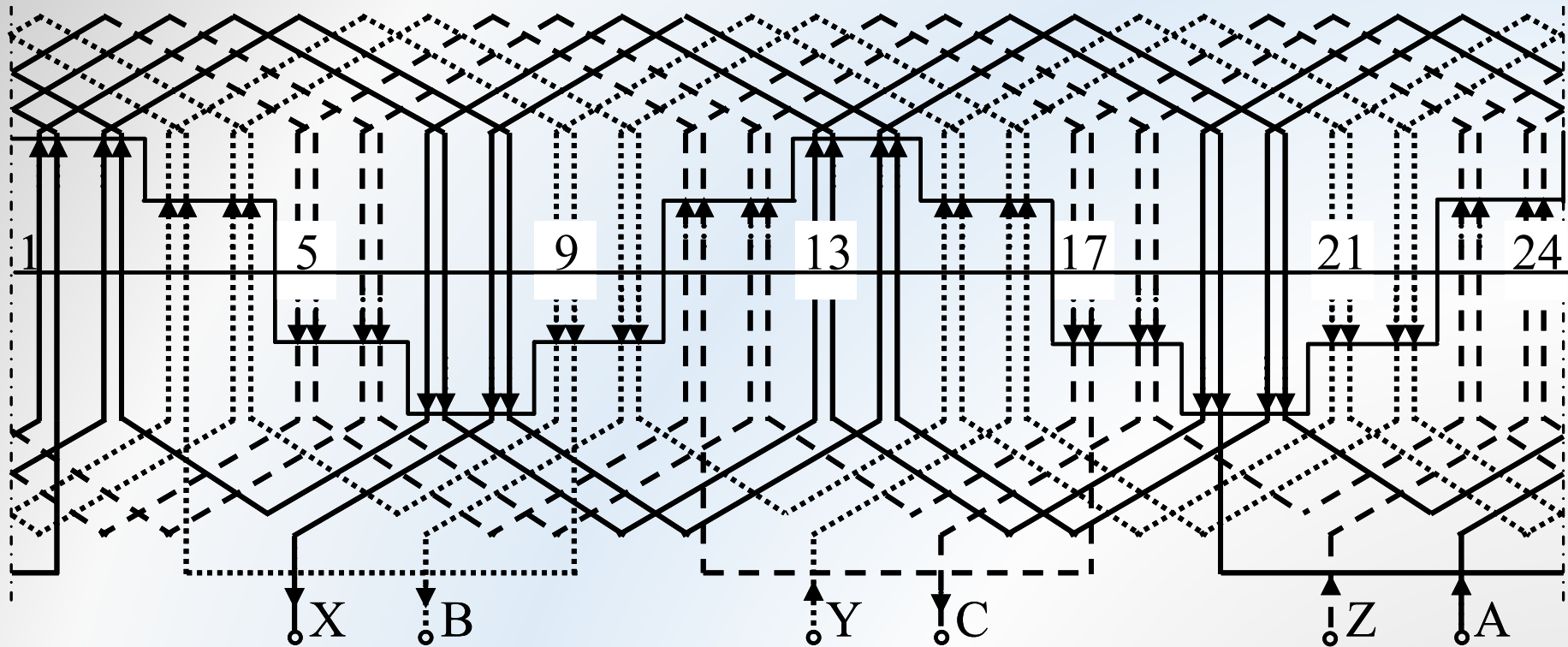
Înfășurare trifazată în 2 straturi cu pas diametral: $Z=24$, $2p=4$

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

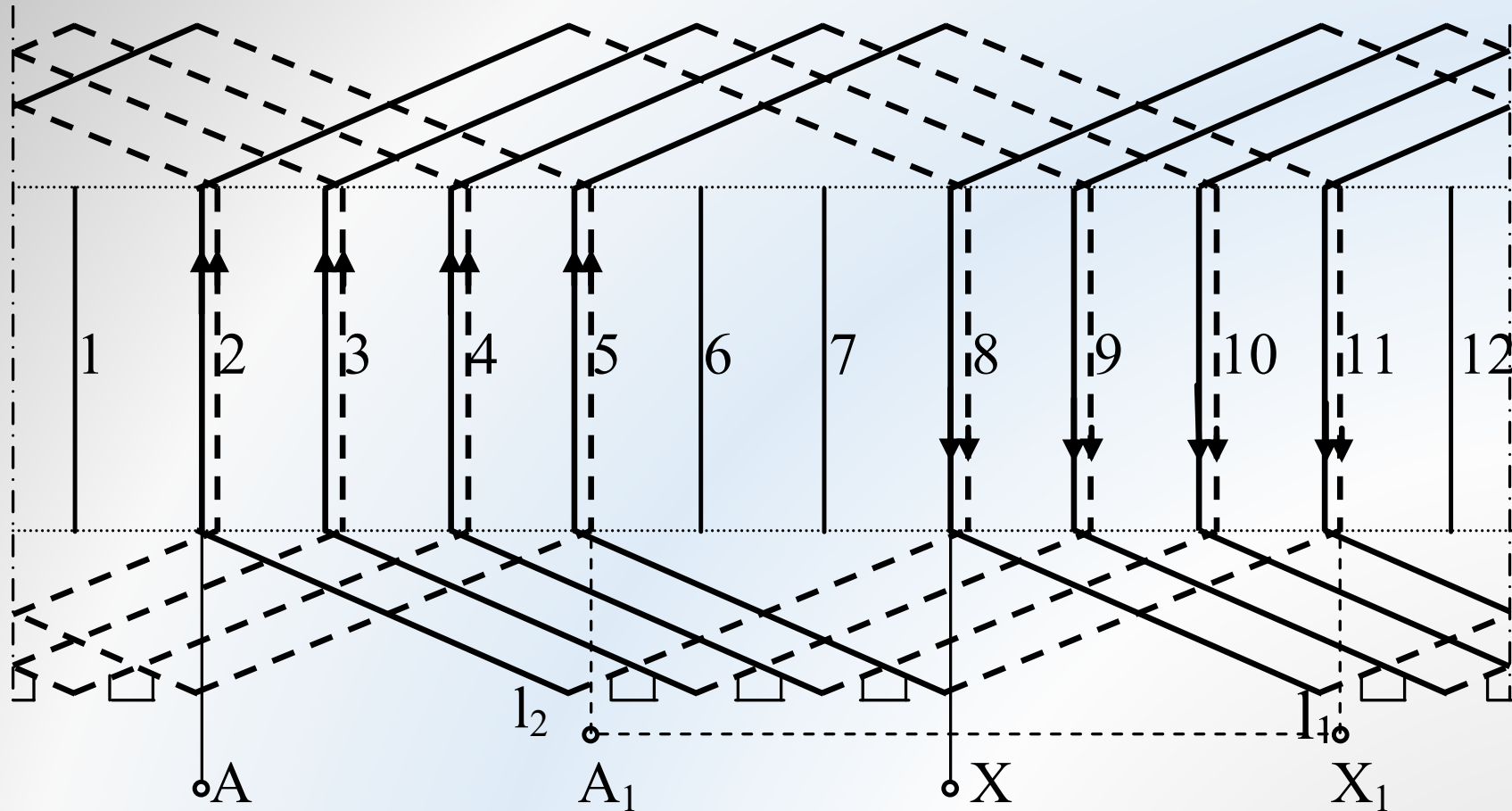


Înfășurare trifazată cu pas scurtat, în 2 straturi: $Z=24$, $2p=4$

- 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: $Z=24$, $2p=4$, $y=6$



Infășurare monofazata in dublu strat

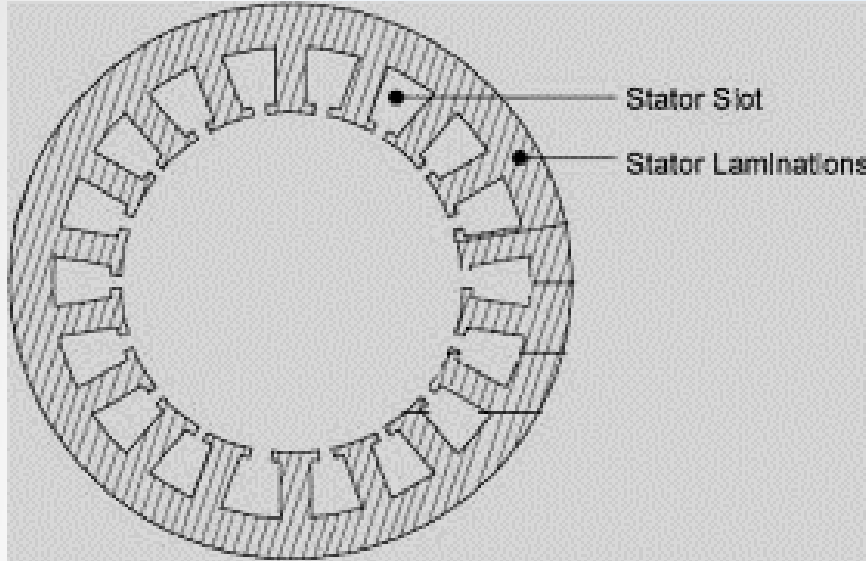
$$y=12/2=6$$

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

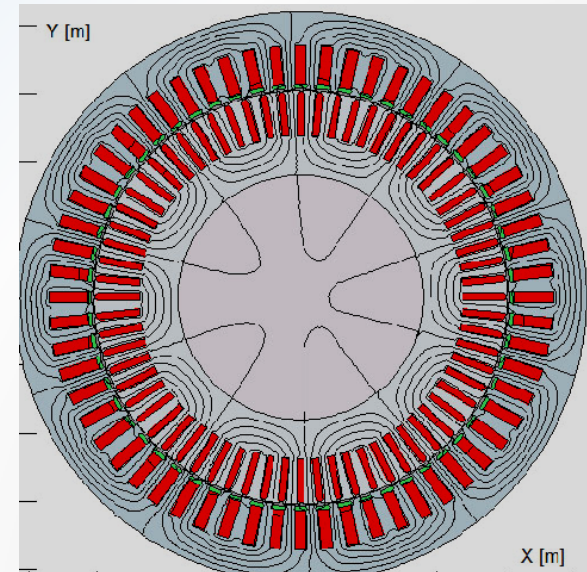
Masina asincrona

Stator

- $q \geq 2$ – pentru sinusoidizarea curbei inducției în întrefier și diminuarea armonicilor de ordin superior
- $q = \text{nr. întreg}$ (foarte rar $q = \text{fracționat}$ la mașini de putere și turație mică).
Dacă $q = \text{fracționat}$ 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)

Masina asincrona

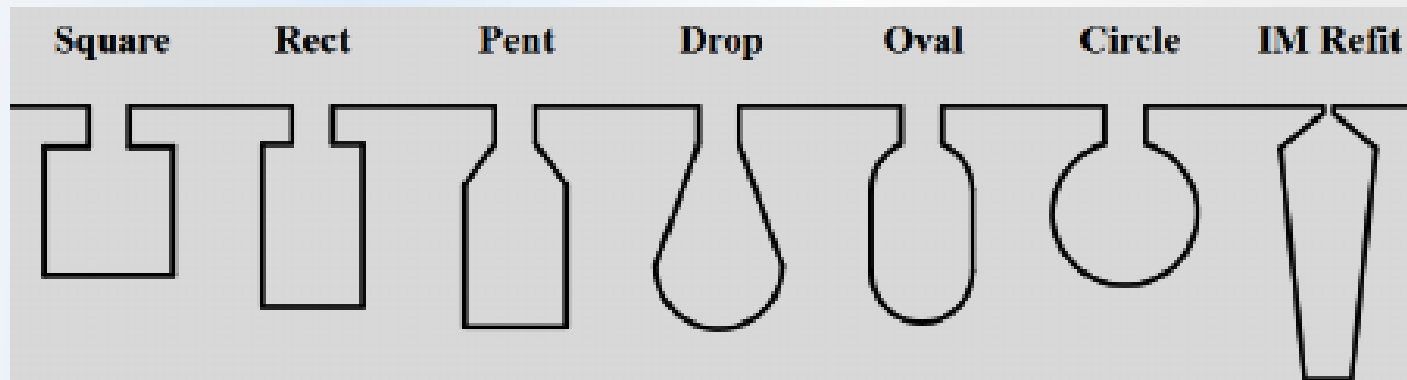
Rotor

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

$$Z_1 \neq Z_2$$

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

- ➔ $q = \text{nr. \u00eentreg}$ (foarte rar $q = \text{frac\u021bionar}$ la ma\u0219ini de putere si tura\u021bie mic\u0103).
Dac\u0103 $q = \text{frac\u021bionar}$ atunci frac\u021biunea este $\frac{1}{2}$



Masina sincrona

Stator

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

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

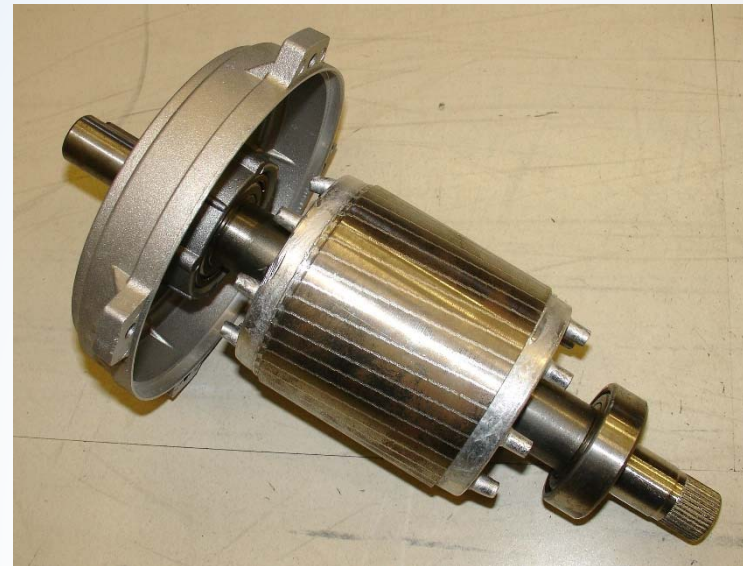
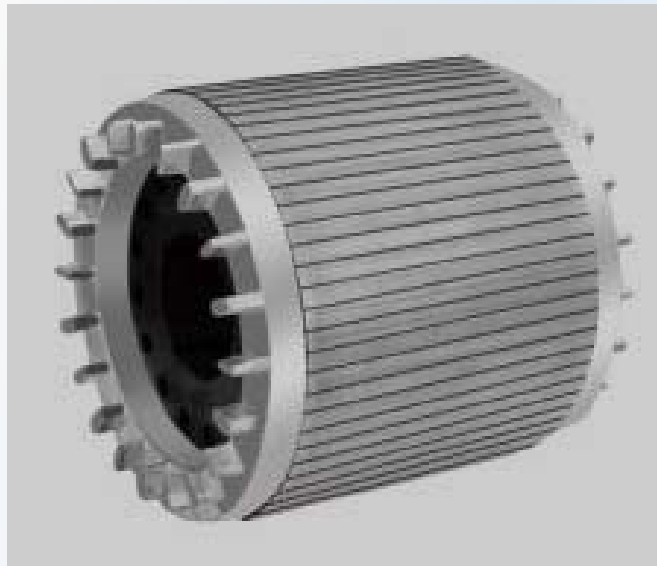
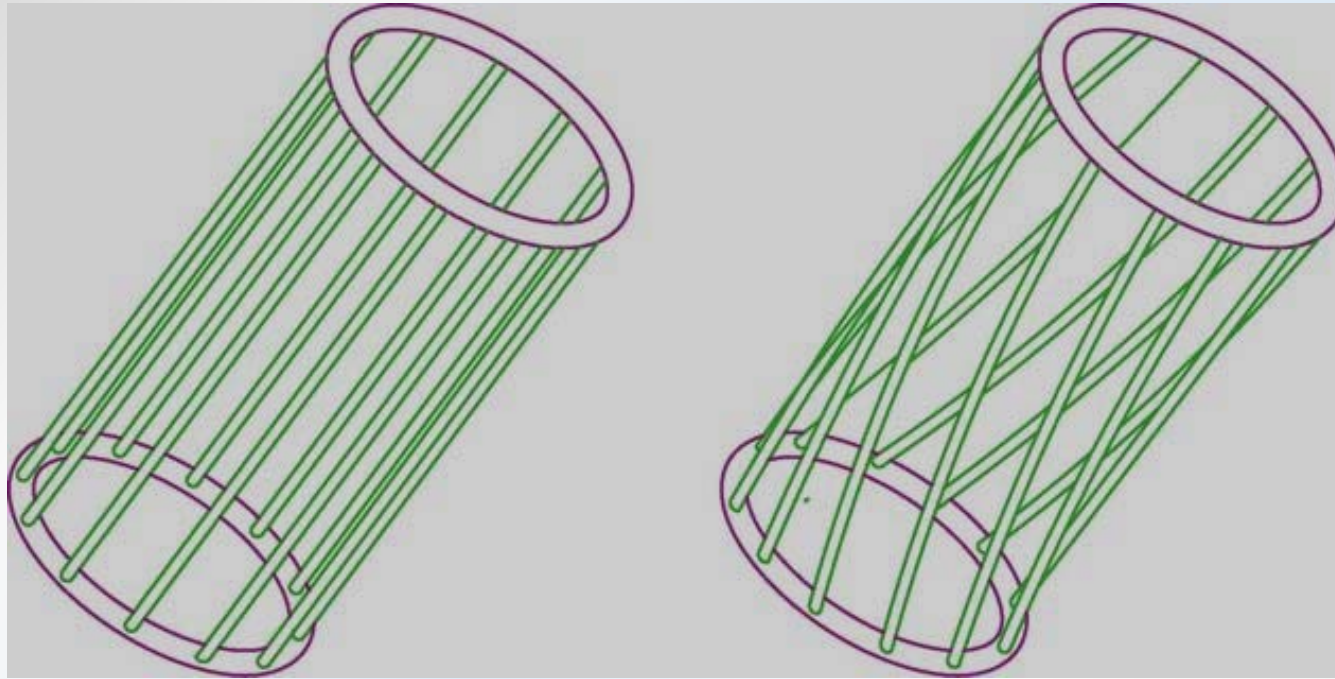
(de regula $y = 0,82 y_{\tau}$)

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

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

Înfășurări într-un strat sau în două straturi

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



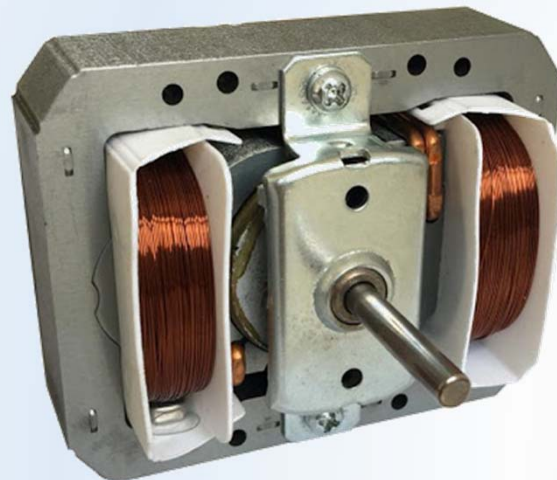
Înfășurare de tip concentrat



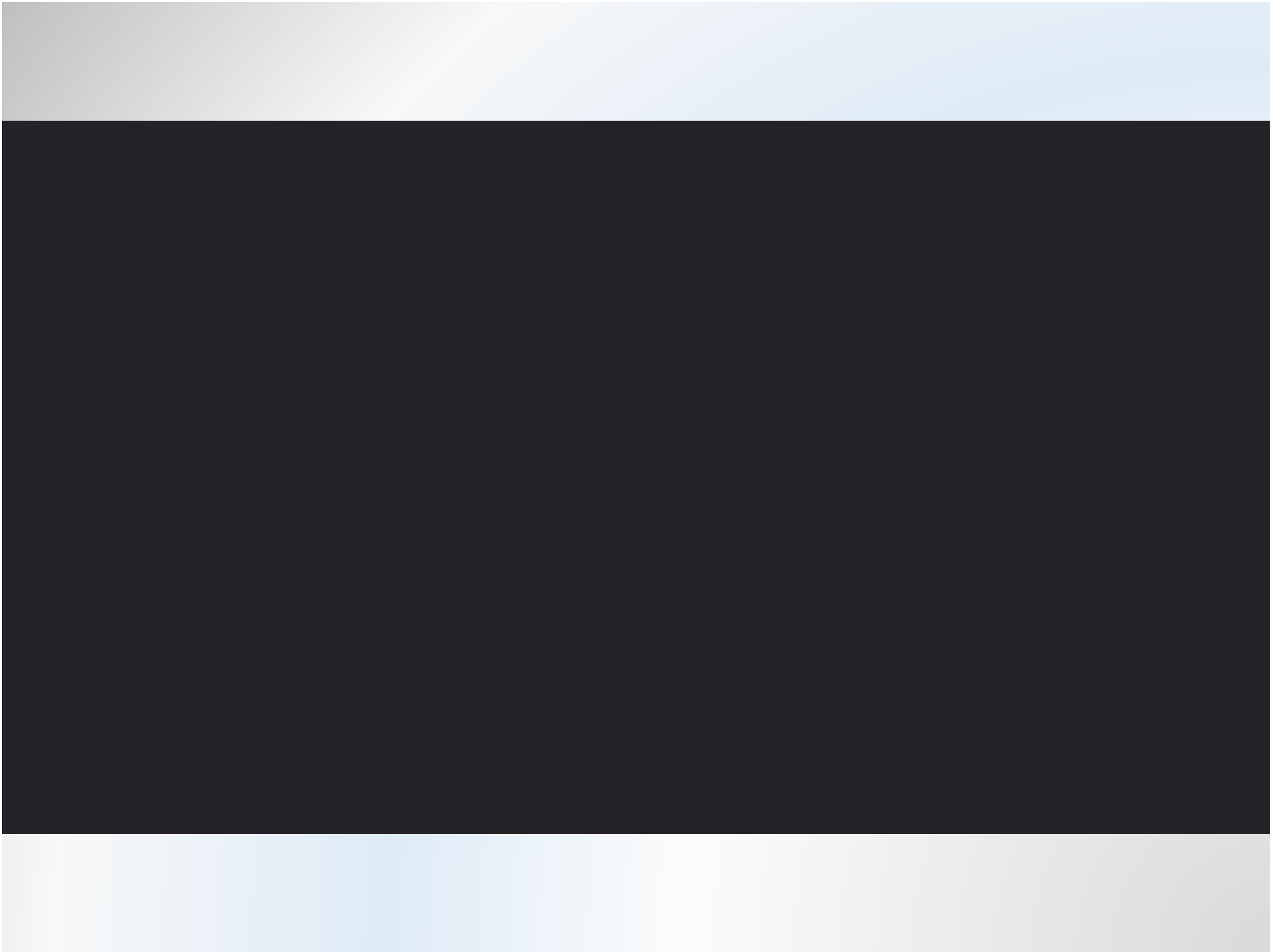
Stator mașină sincronă cu magneți permanenți și q fracționar subunitar



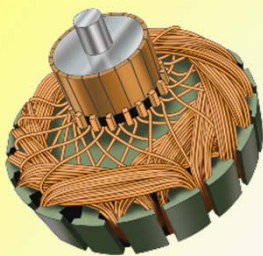
Rotor mașină sincronă cu poli aparenti



Motor sincron cu poli ecranati



Înfășurări in mașinile de c.c.



Înfășurarea indusului – de tip repartizat in creștăturile rotorului.



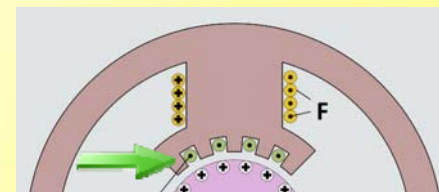
Înfășurarea de excitație – de tip concentrat pe polii principali.



Înfășurarea polilor auxiliari – de tip concentrat pe pol.

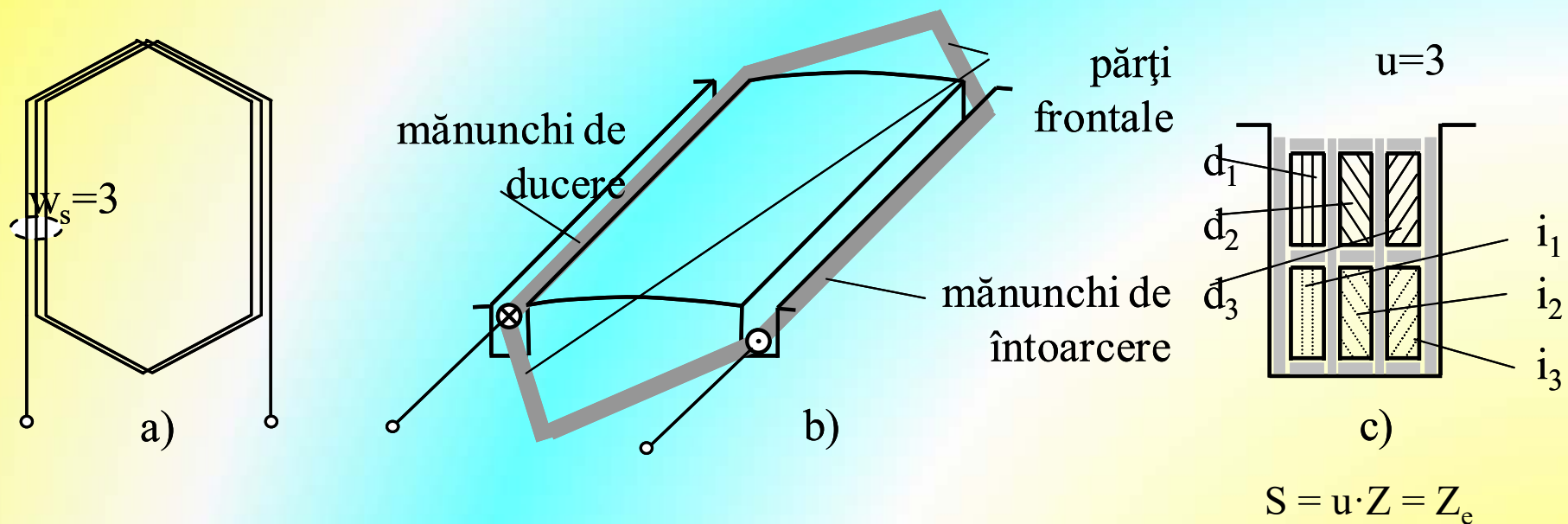


Înfășurarea de compensație - distribuita in creștăturile pieselor polare ale polilor principali.

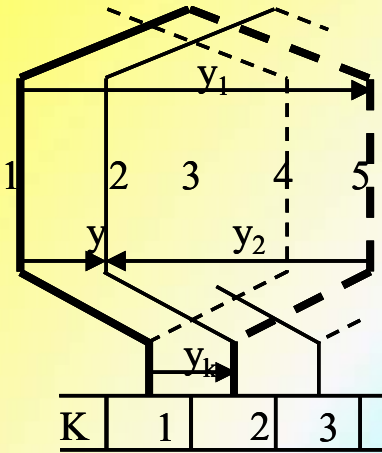


Înfășurarea indusului

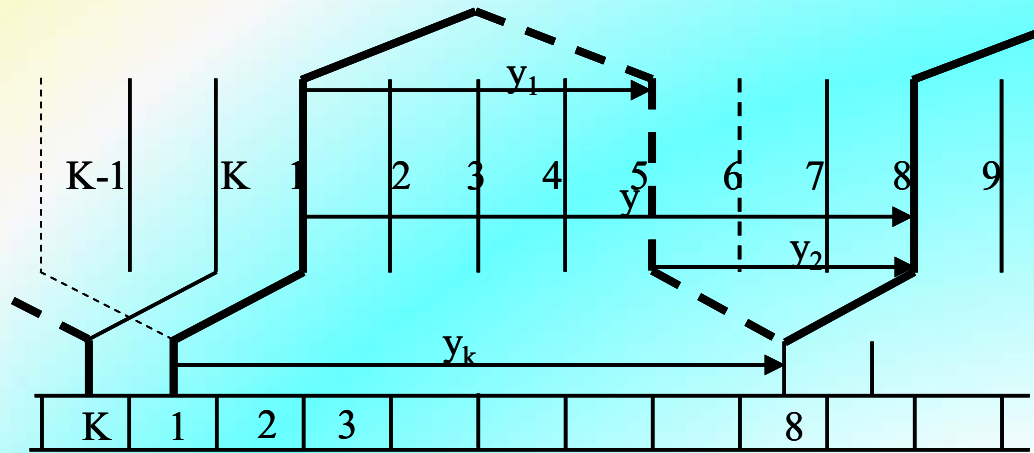
Elemente de construcție a înfășurărilor de c.c.: a) secție compusă din 3 spire înseriate, b) secție introdusă în creștături, c) creștătură fizică echivalentă cu 3 creștături elementare



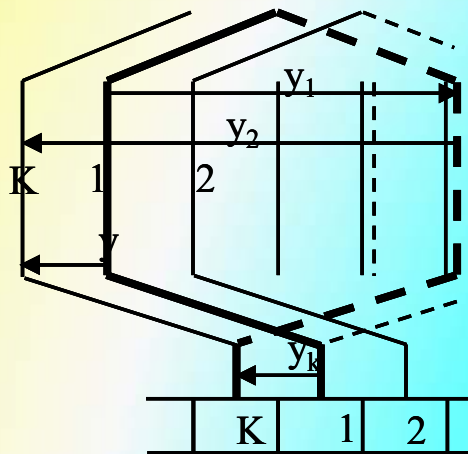
Numărul de secții, S , este egal cu numărul de lamele de colector, K . De regulă, întrucât se dorește un număr cât mai mare de lamele de colector, din rațiuni tehnologice, numărul de creștături rotorice nu poate fi egal cu numărul de lamele. Practic, secțiuni diferite, ce sunt conectate la perechi de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



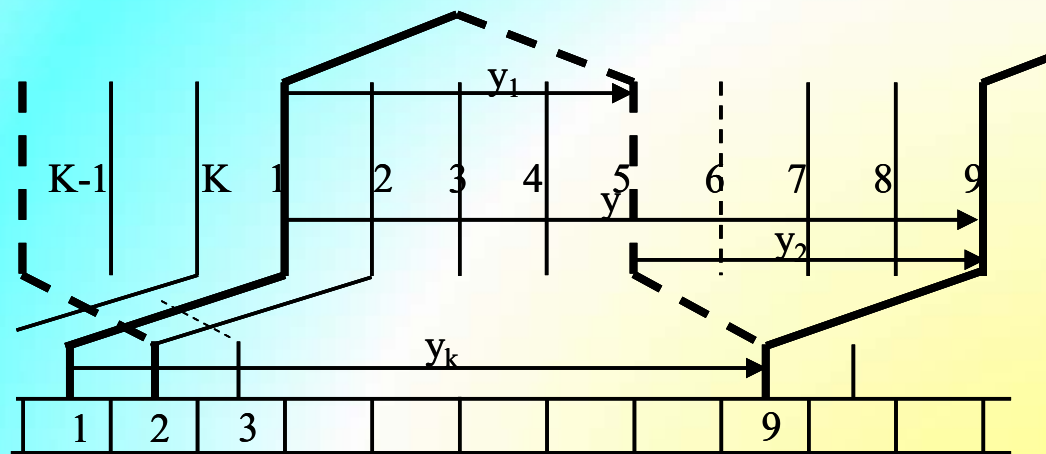
a₁) înfășurare buclată neîncrucișată



b₁) înfășurare ondulată neîncrucișată



a₂) înfășurare buclată încrucișată



b₂) înfășurare ondulată încrucișată

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

Înfășurare buclata

$$y = y_1 - y_2$$

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

$$2a = 2p$$

Înfășurare ondulata

$$y = y_1 + y_2$$

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

$$2a = 2$$

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

Pasul resultant: y

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





Pasul de întoarcere: y_2 (distanța, în număr de crestături, între latura de 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 in 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 buclata simpla
2. $2a = 2mp$  înfășurare buclata multipla
3. $2a = 2$  înfășurare ondulata simpla
4. $2a = 2m$  înfășurare ondulata multipla

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

$m = 1, 2, 3 \dots$

Alegerea numărului de lamele la colector, K

a. Se determina 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

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

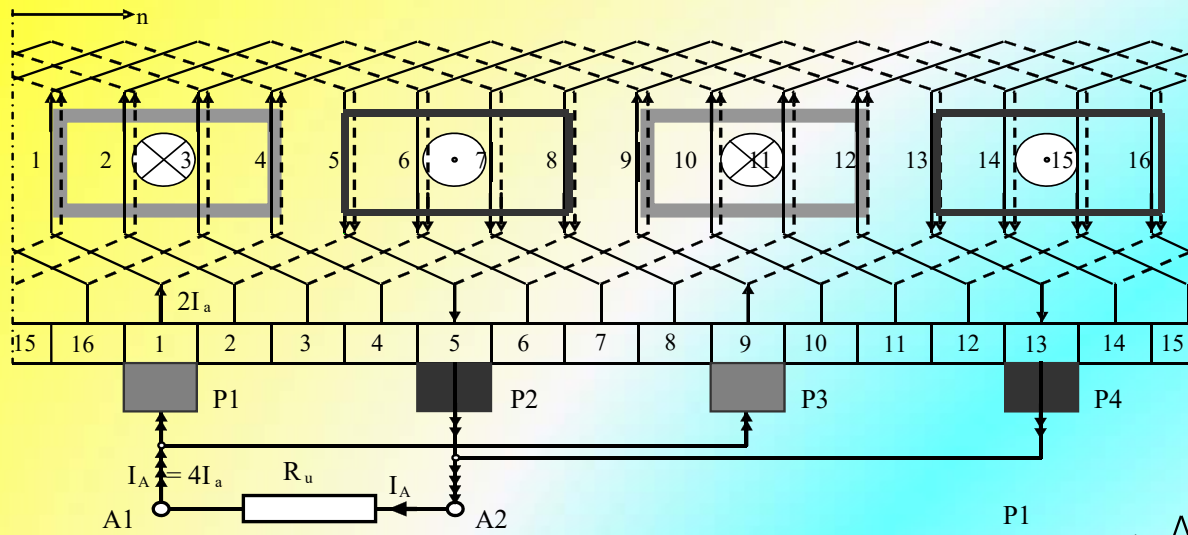
e. Se adopta K număr întreg astfel încât să obțin

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

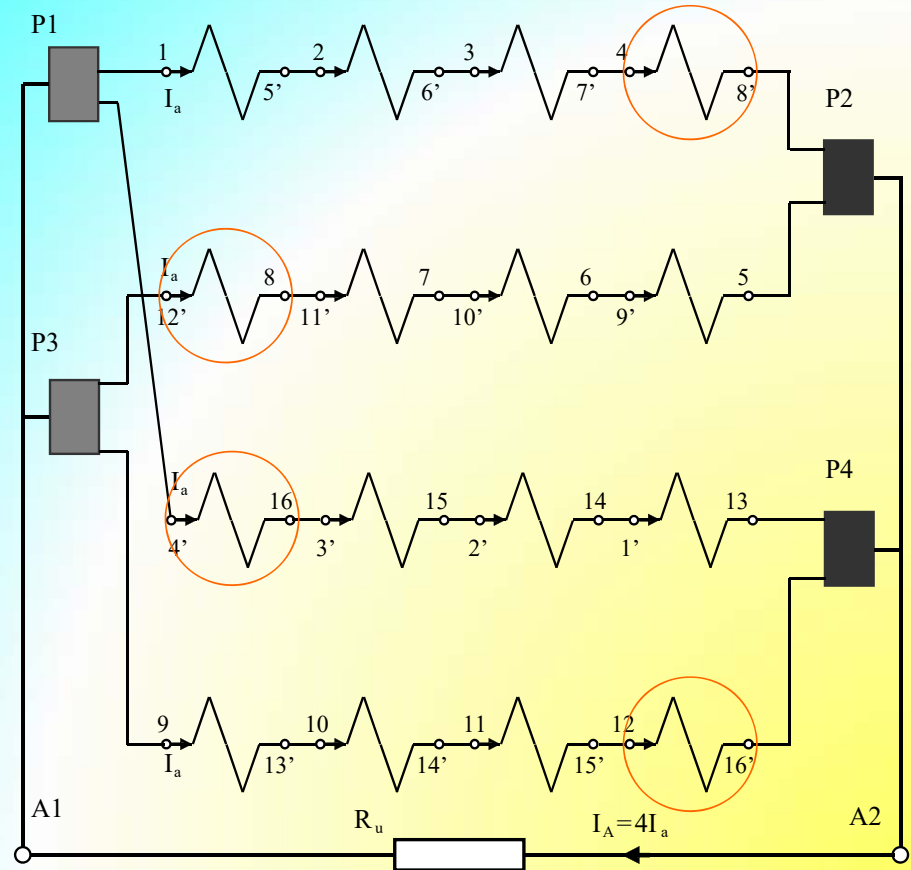
Alegerea numărului de crestături, Z

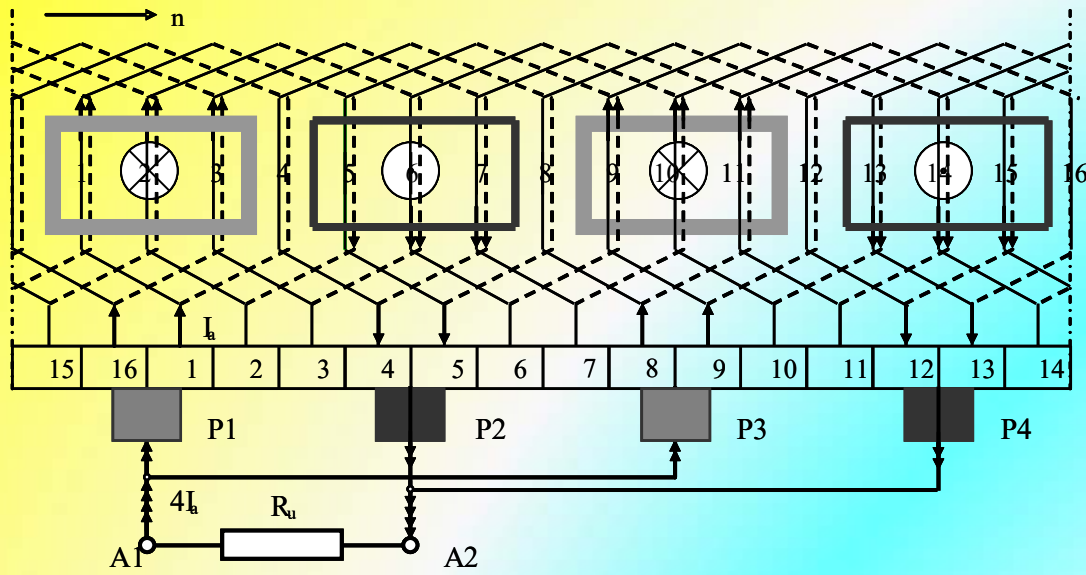
$$Z = \frac{K}{u}$$

număr întreg



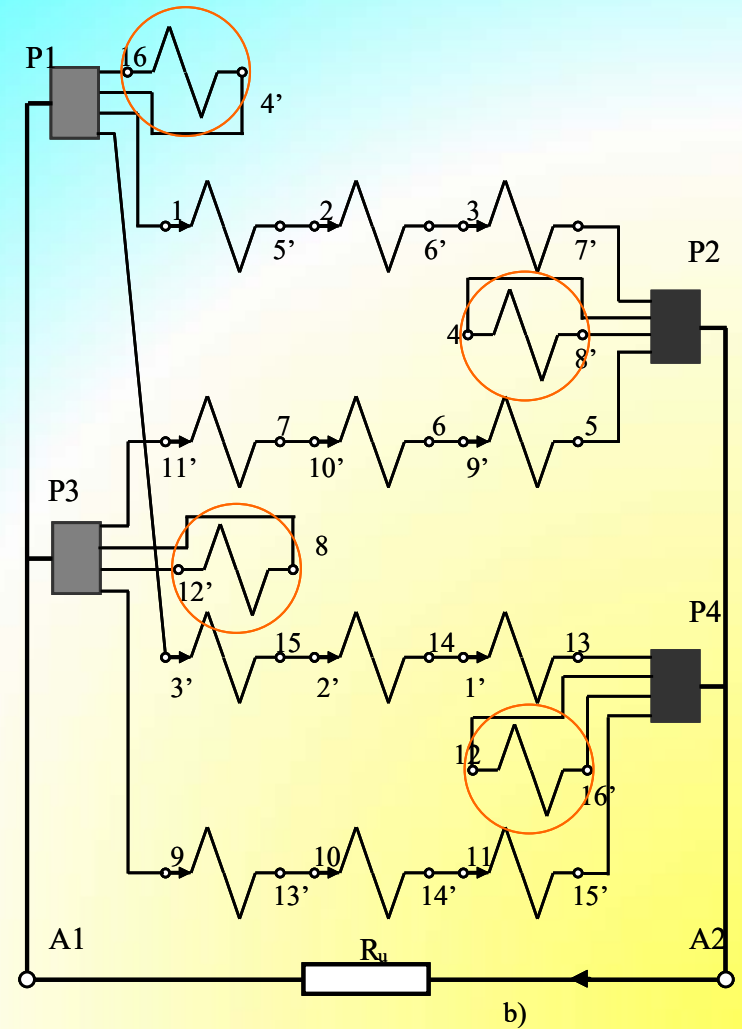
Infasurare buclata simpla:
 $Z=16=K=S$, $2p=4$ - cu pas diametral



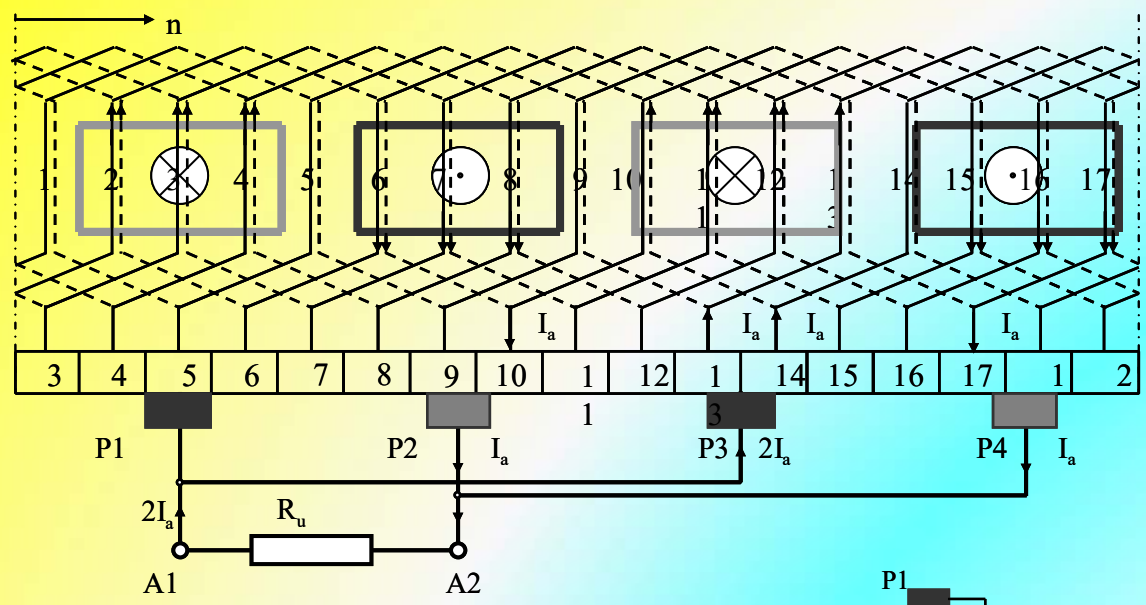


a)

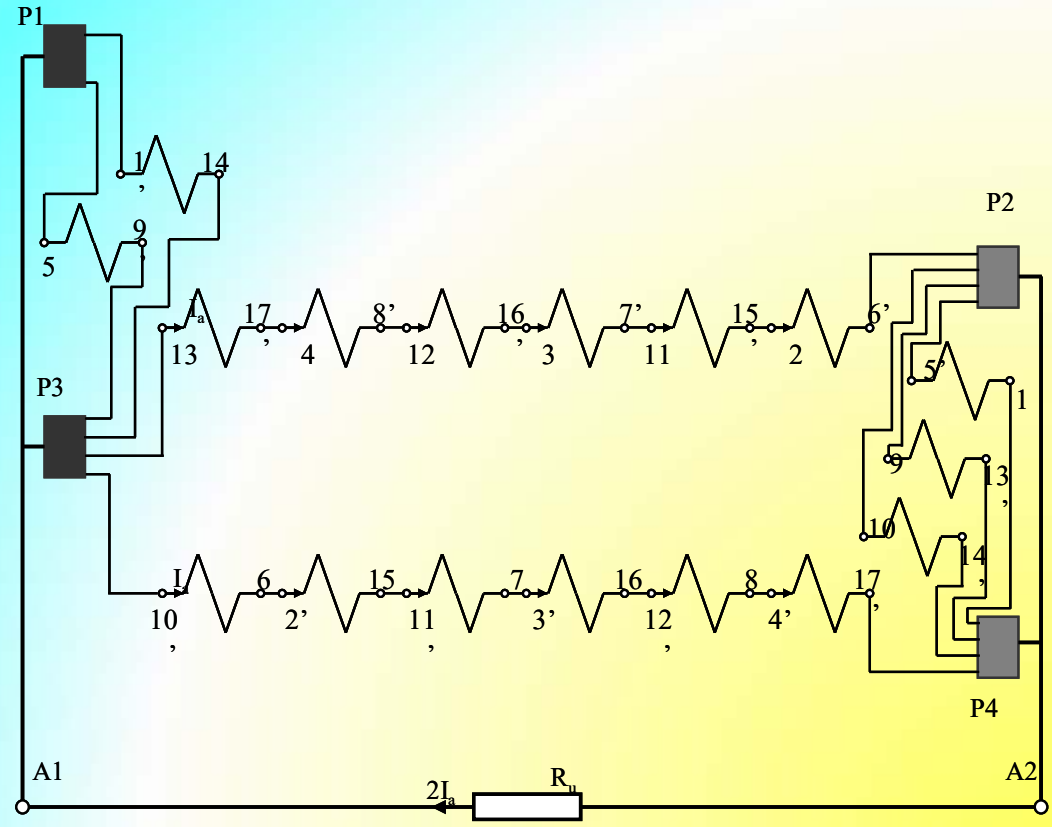
Infasurare buclata simpla:
 $Z=16=K=S$, $2p=4$ - cu pas diametral

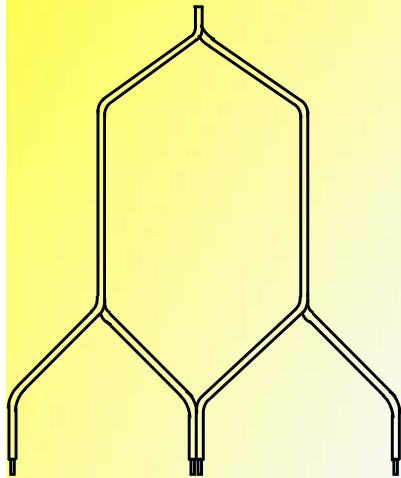


b)

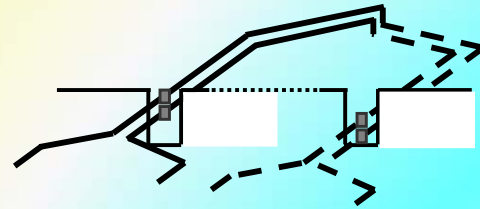


Infasurare ondulata simpla:
 $Z=17=K=S$, $2p=4$

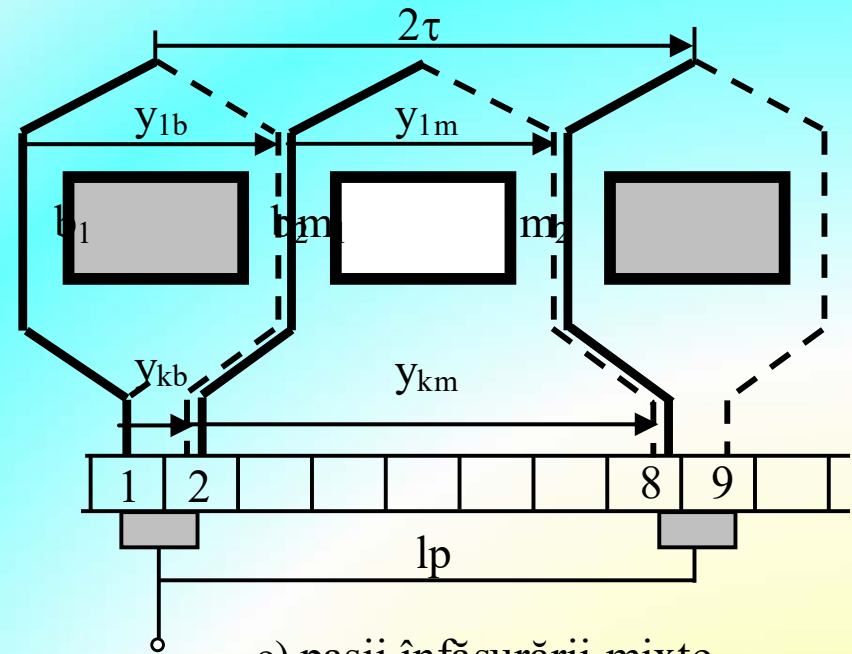




a) secție mixtă -broască



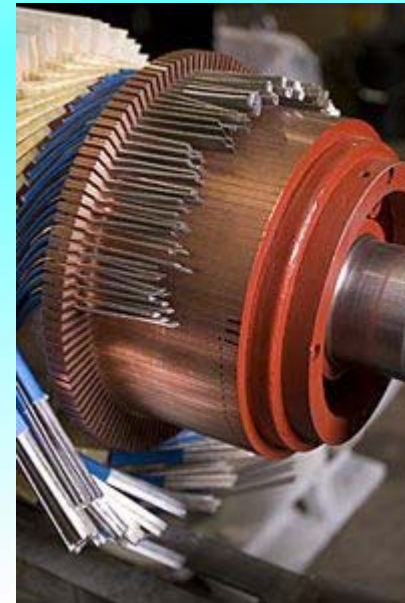
b) plasare în creștături



c) pașii înfășurării mixte

Înfășurare mixta

Realizarea înfășurării rotorice la mașina de C.C.





HiTRAXTM

REPAIR OR REPLACE?

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



REPAIR OR REPLACE?

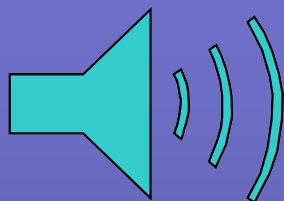
A decision model for
industrial electric motors

BY CHUCK YUNG & AUSTIN H. BONNETT

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



PRET



Timpul necesar inlocuirii sau repararii

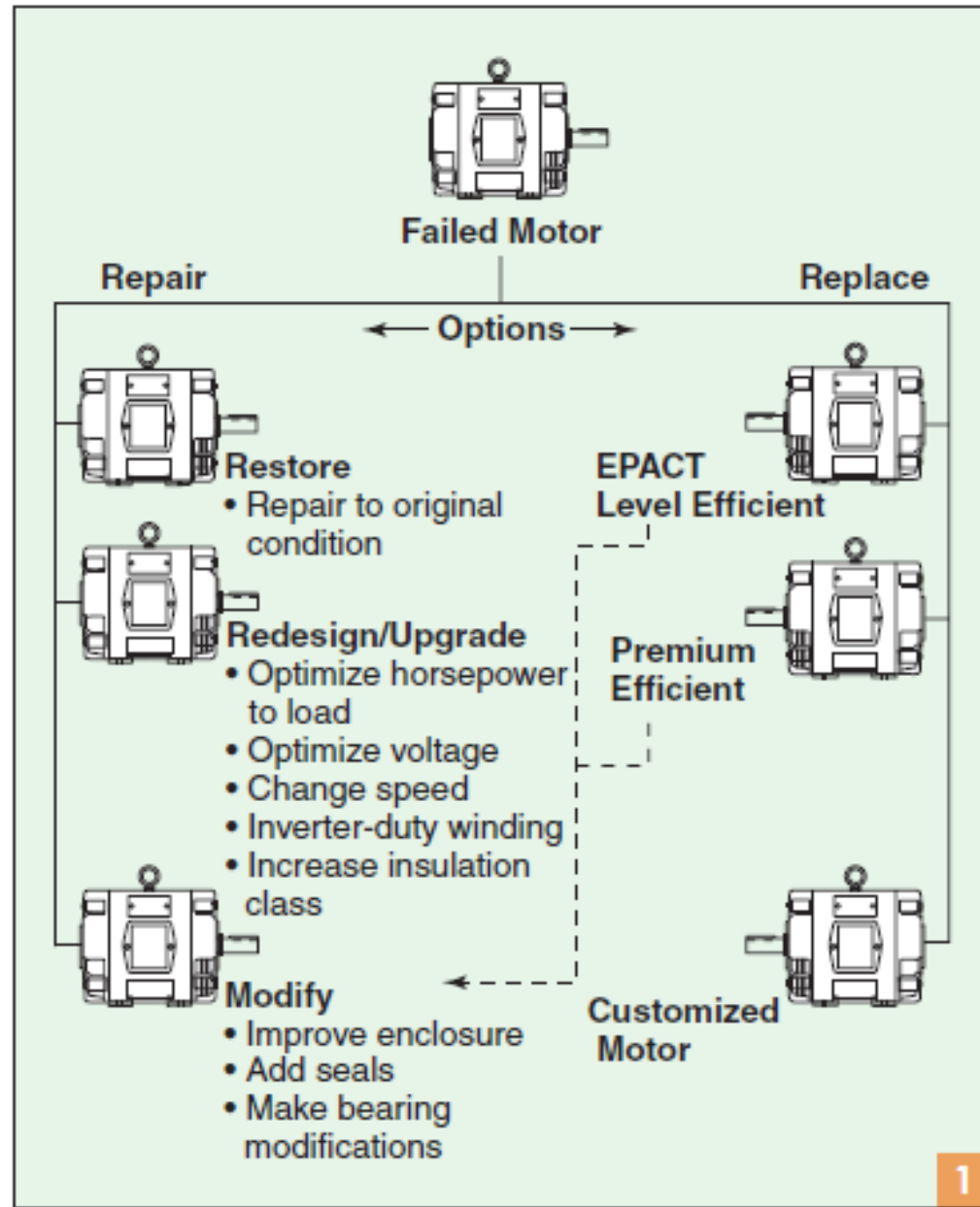
Perioada de amortizare

Pierderile cauzate de intrerupere

Oportunitati (contracte) pierdute in aceasta perioada

Posibila pierdere a unor clienti

Oportunitati oferite de inlocuire (reparare)



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

Lista de verificare (detaliata)

1. Sistemul de alimentare	- Care este tensiunea nominala; in ce măsura apar variații de tensiune; exista căderi de tensiune la pornire; exista probleme la pornire; apar vârfuri de tensiune.
2. Factori de mediu	- Care este frecventa 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	- Exista cuplare directa; cum arata vibrațiile la pornire; este sarcina fixata in consola; descrierea tipului de prindere a motorului electric (pe fundație, in consola, etc)
5. Metoda de pornire	- Descrieți tipul de pornire (directa, stea-triunghi, cu soft-starter, etc)
6. Frecventa 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; exista posibilitate formarii de rosturi.
7. Tipul acționării electrice	- Cat de importanta este funcționarea; este un sistem dedicat sau redundant; exista piese de schimb; care sunt consecințele întreruperii funcționării.
8. Istoricul defectelor si a reparațiilor	- Motorul a mai fost rebobinat (daca 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 buna metoda de monitorizare.
10. Existenta 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

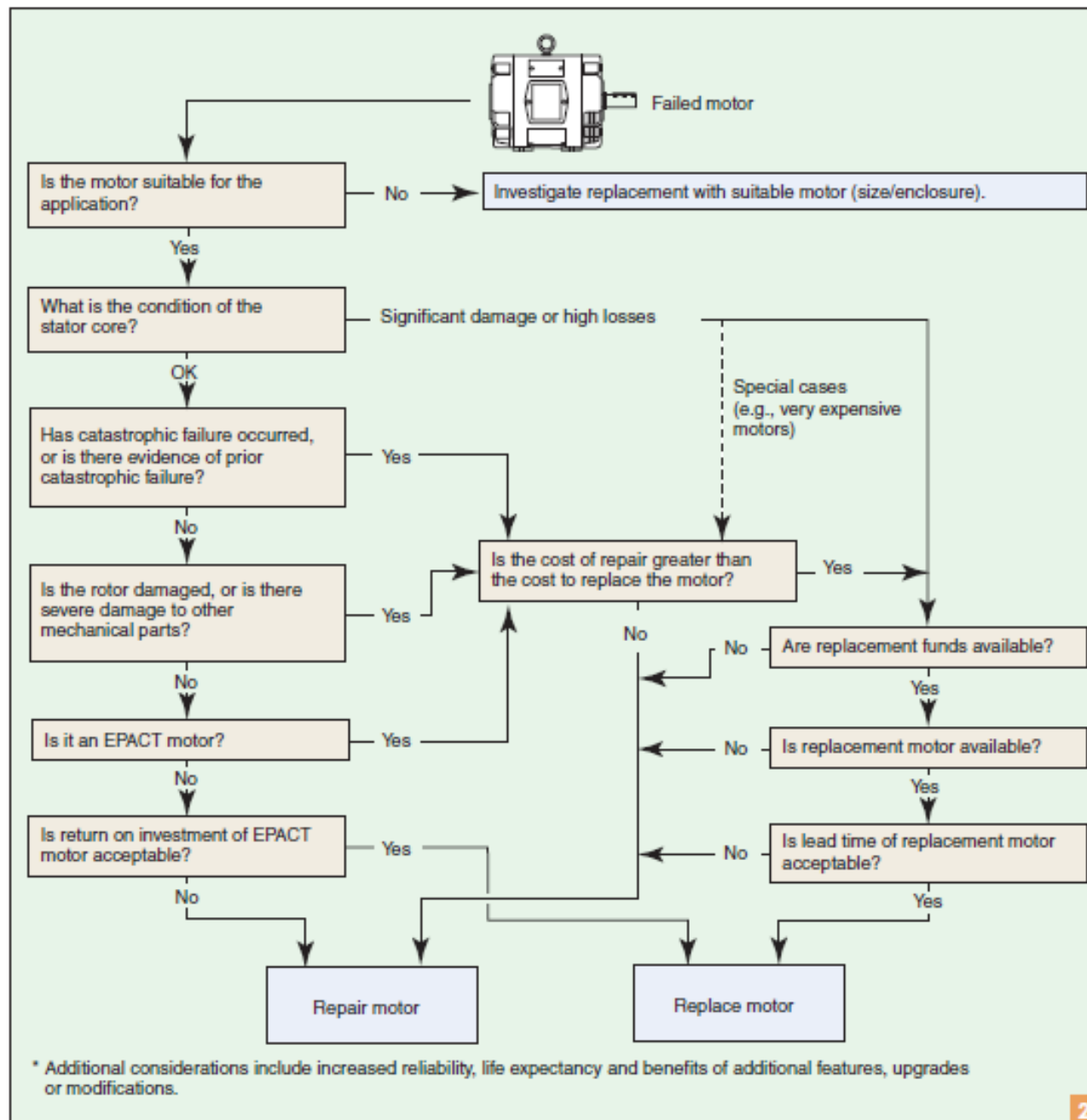
- Replace
- Lubrication
- Bearing protection
- Modification
- Redesign (upgrade or optimize)

Motor accessories

- Winding
- Bearings
- Outlet box
- Other protection

Mechanical repairs

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



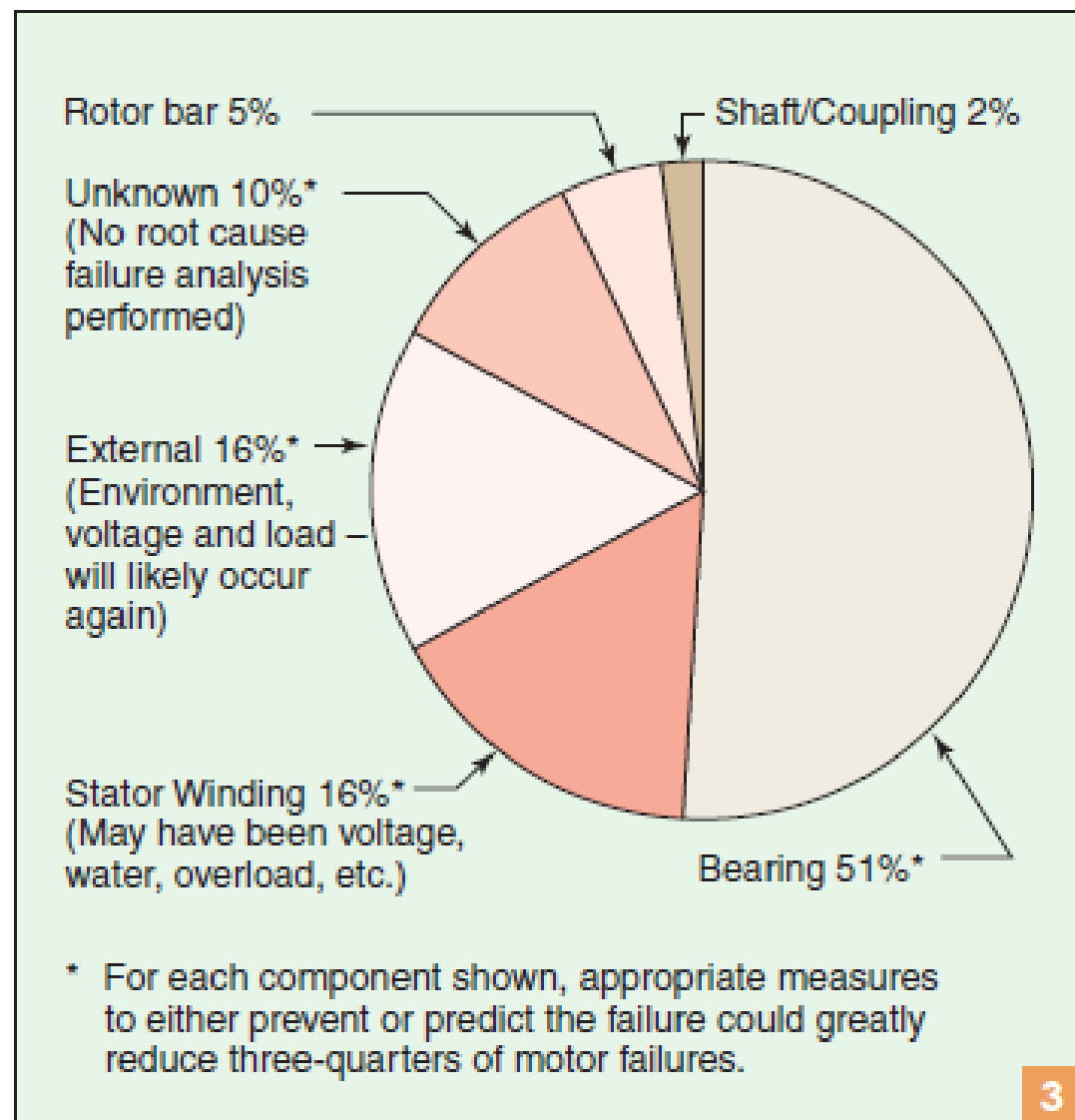
The intuitive decision-making process for most motor failures.

TABLE 2. LEVELS OF REPAIRS.

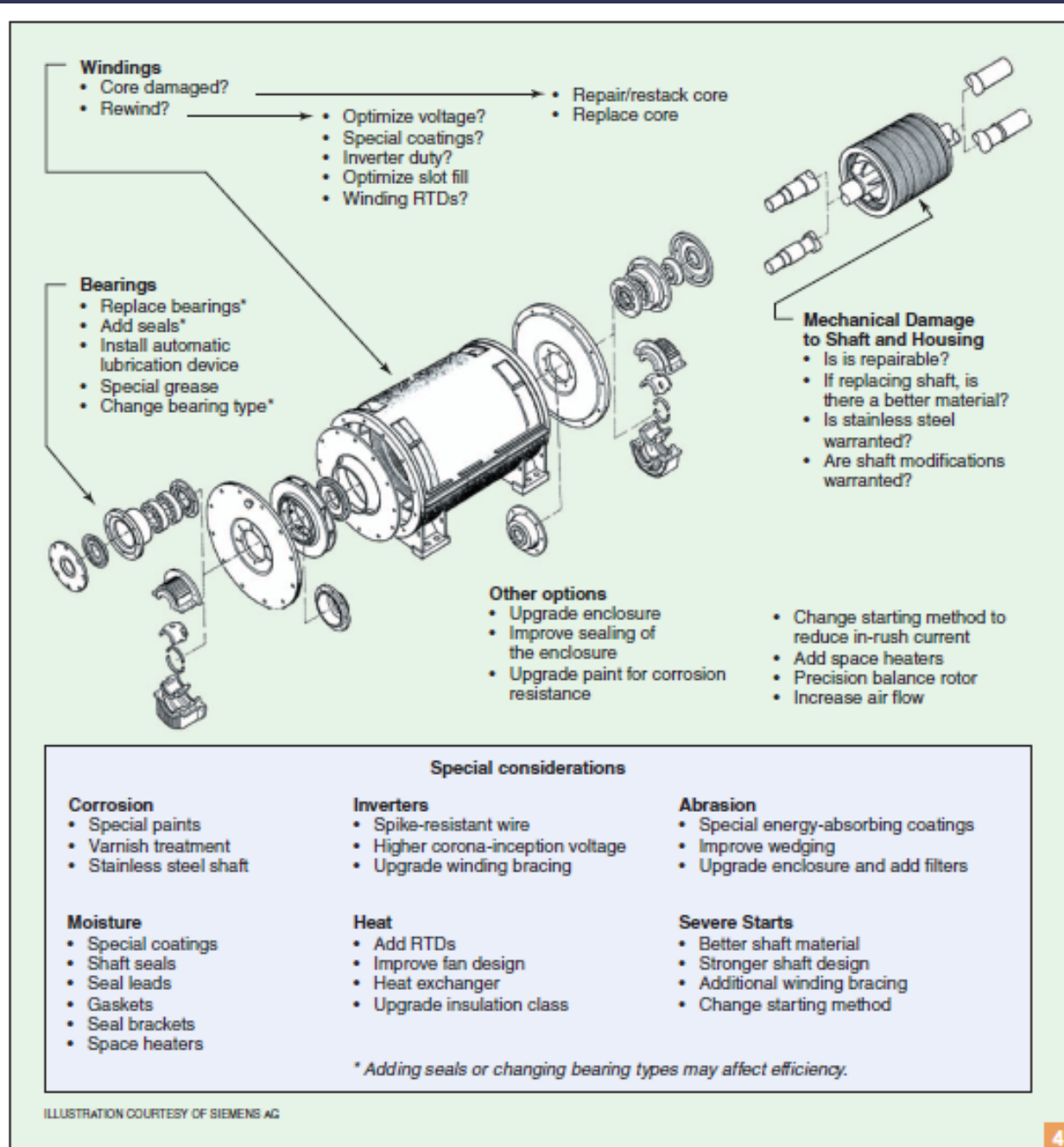
Level 1	Basic reconditioning. Includes replacing bearings, cleaning all parts and replacing lubricant. Also adds seals and other accessories as agreed with customer.
Level 2	Includes Level 1 with the addition of varnish treatment of stator windings, repair of worn bearing fits and straightening of bent 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.

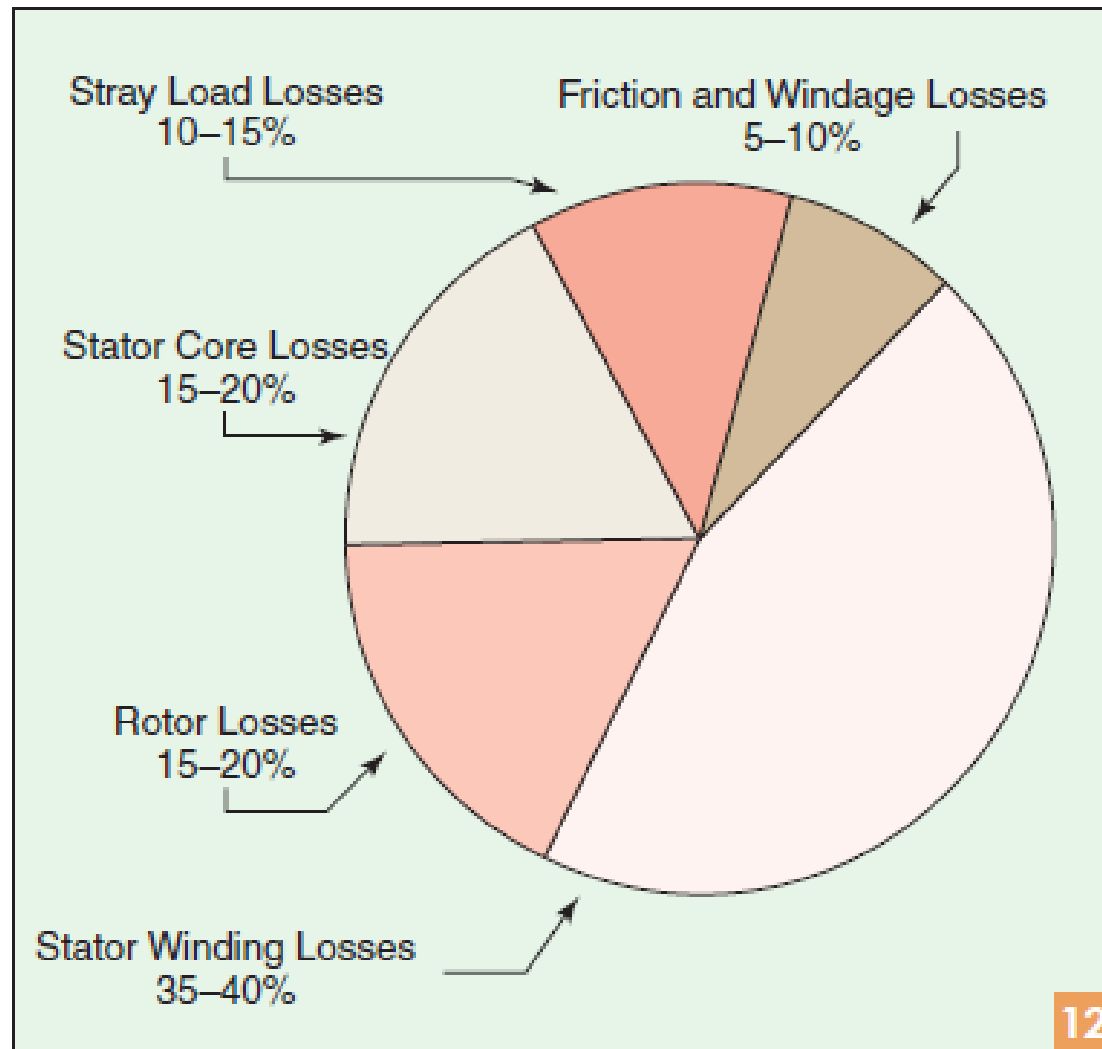
PREVENIREA DEFECTELOR



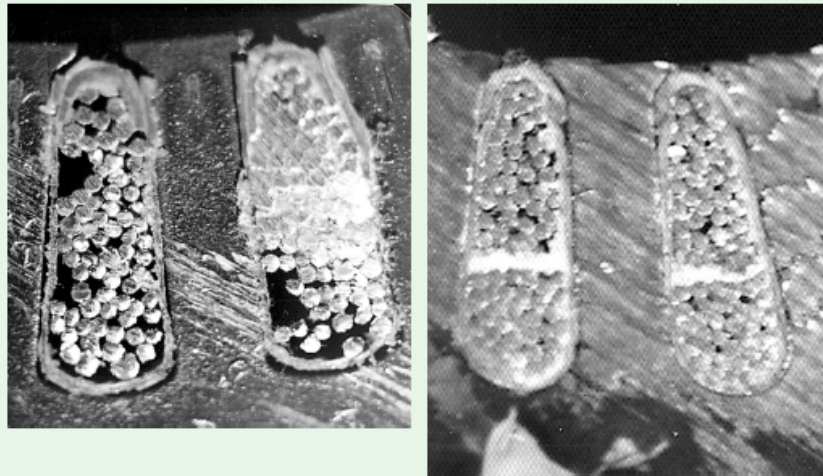
Maintenance dollars yield the greatest return when spent on the largest piece of the pie.



Modifications tailor a motor to its unique application.



Typical breakdown of four-pole motor losses by component.



(a)

(b)

11

Increasing slot fill reduces current density (A/mm^2) 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.	

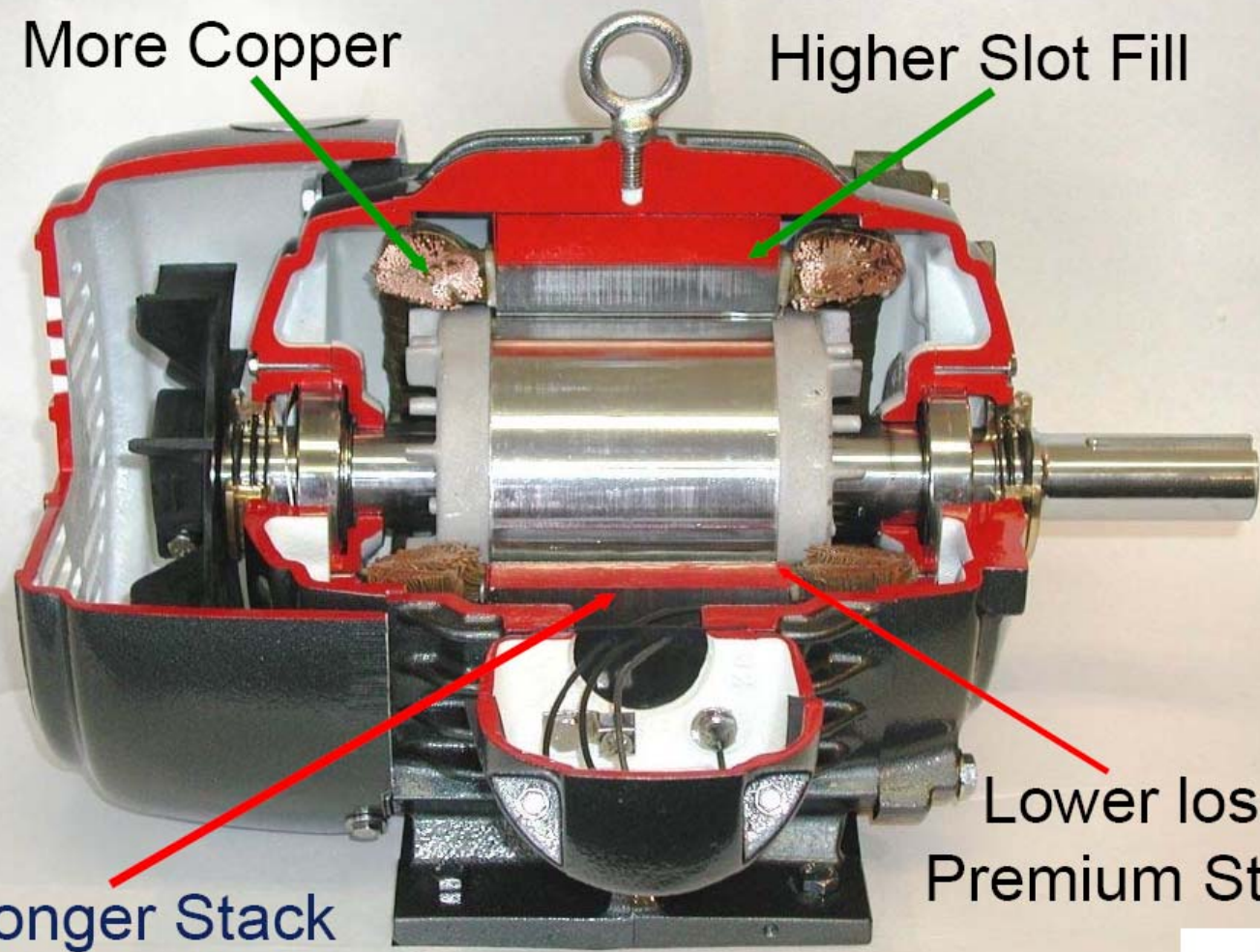
Typical four-pole, open dripproof, general purpose, T-frame motors of pre-energy efficient design.

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

D = wire diameter

More Copper

Higher Slot Fill



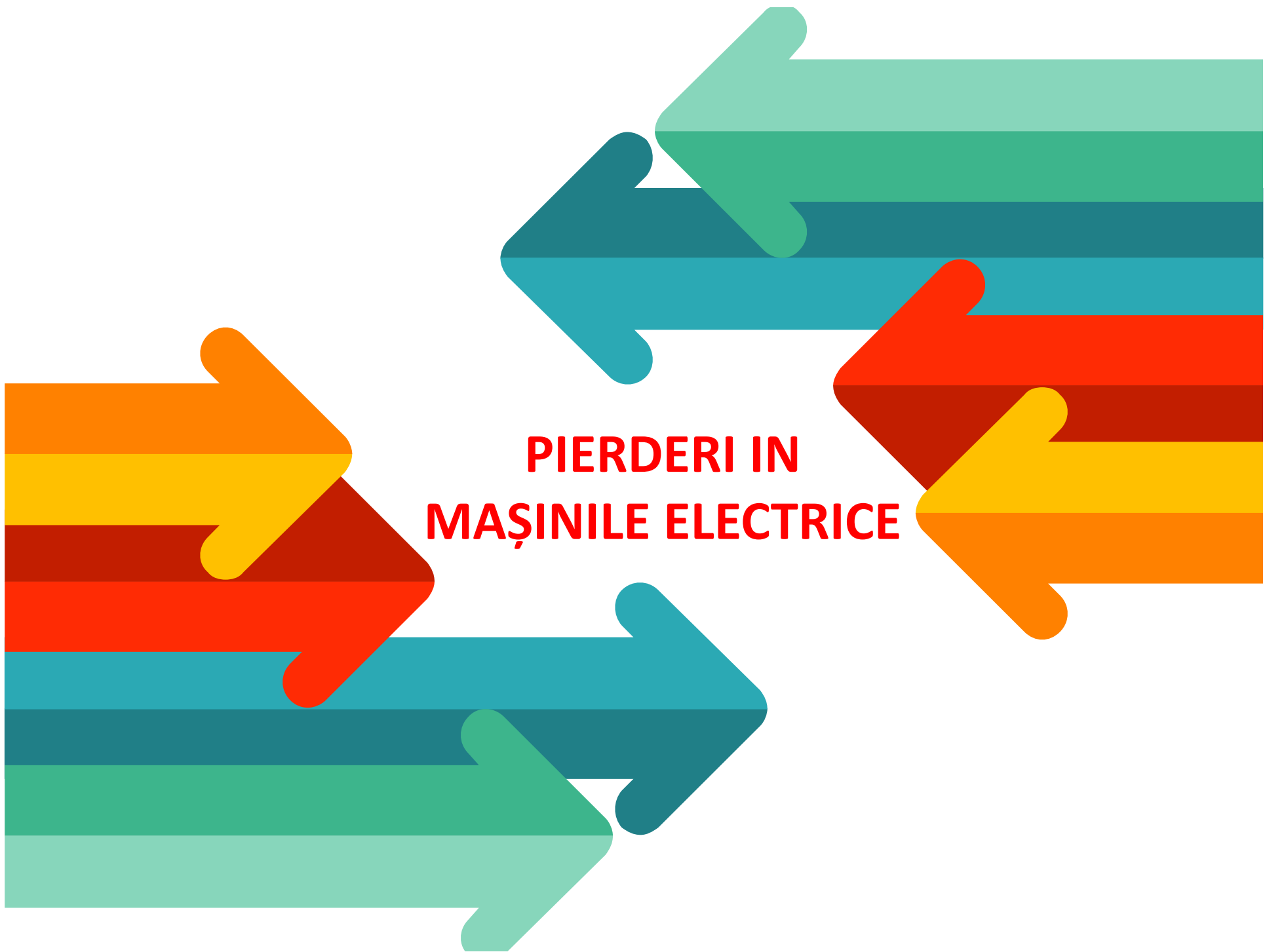
Longer Stack

Lower loss
Premium Steel

NEMA Premium



**PIERDERI IN
MAȘINILE ELECTRICE**



Clasificare



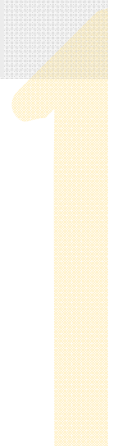
1



2



3



Pierderi în fier

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

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

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

pierderi prin histerezis

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

pierderi prin curenți turbionari

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).

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

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

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

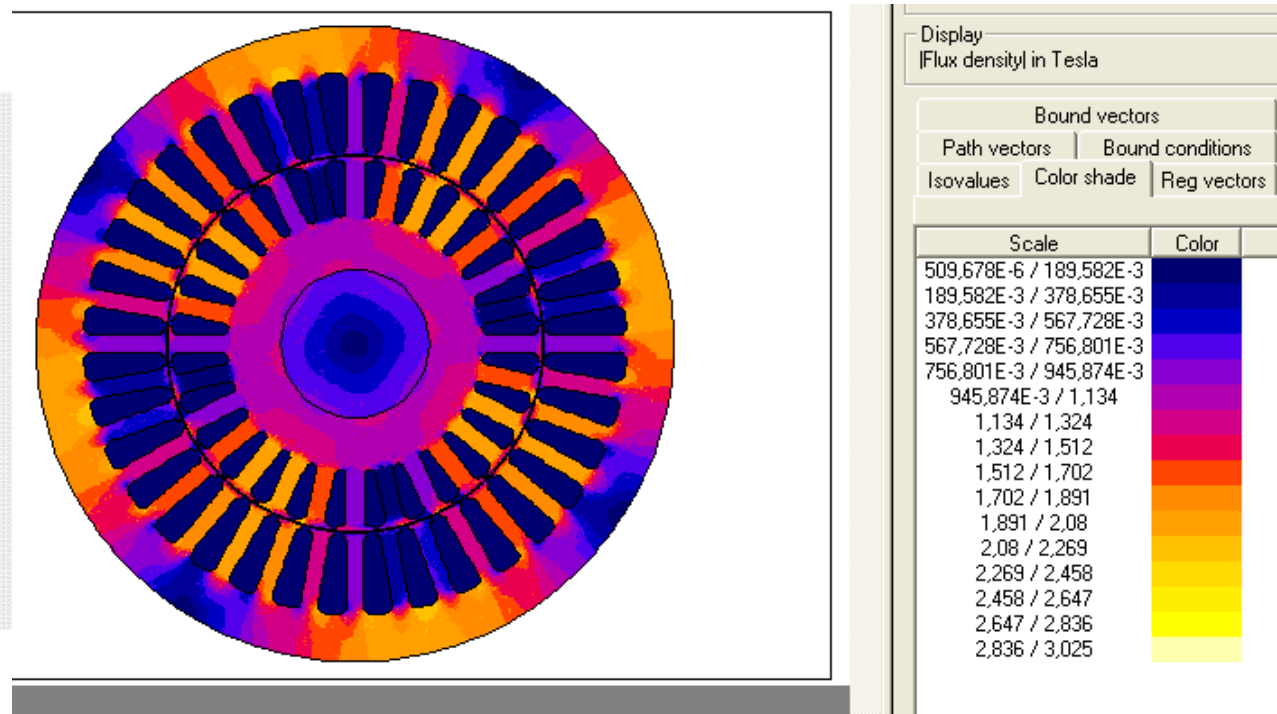
$$P_{d-s,r} = k_d \cdot p_{d-s,r} \cdot G_{d-s,r} \quad [W]$$

$$k_d = 1,8$$

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

Pierderi în fier

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



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

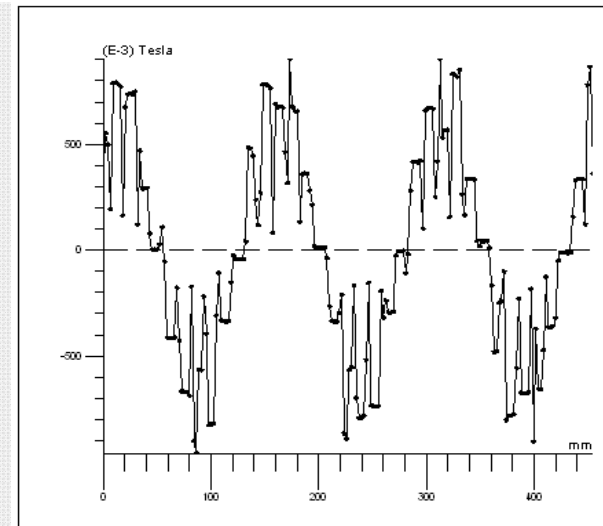
2. Pierderi suplimentare in fier:

- la gol
- in sarcina – apar ca urmare a reacției indusului in plus față de cele la gol

A. La gol

a. De suprafață

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



Pierderi în fier

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

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

Pierderi în fier

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

- se produc NUMAI când ambele armaturi sunt crestate datorita variației fluxului in dinte ca urmare a modificării reluctanței magnetice data de prezența crestăturilor pe CEALALTĂ armatura

$$P_{puls-s,r} = k'_0 \left[\frac{Z_{r,s} \cdot n}{10000} \cdot 10 \cdot B_{puls-s,r} \right]^2 G_{d-s,r}$$

unde $k'_0 = 0,1$ este un coeficient empiric

Pierderi în fier



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

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

Pierderi în înfășurări

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

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

- unde k_r este un coeficient mediu total de majorare a rezistenței datorita 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

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:

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

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

Mașini sincrone

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

PRINCIPALE

SUPLIMENTARE

PRINCIPALE

SUPLIMENTARE

IN JUG

IN DINTI

LA GOL

IN SARCINA

DE SUPRAFATA

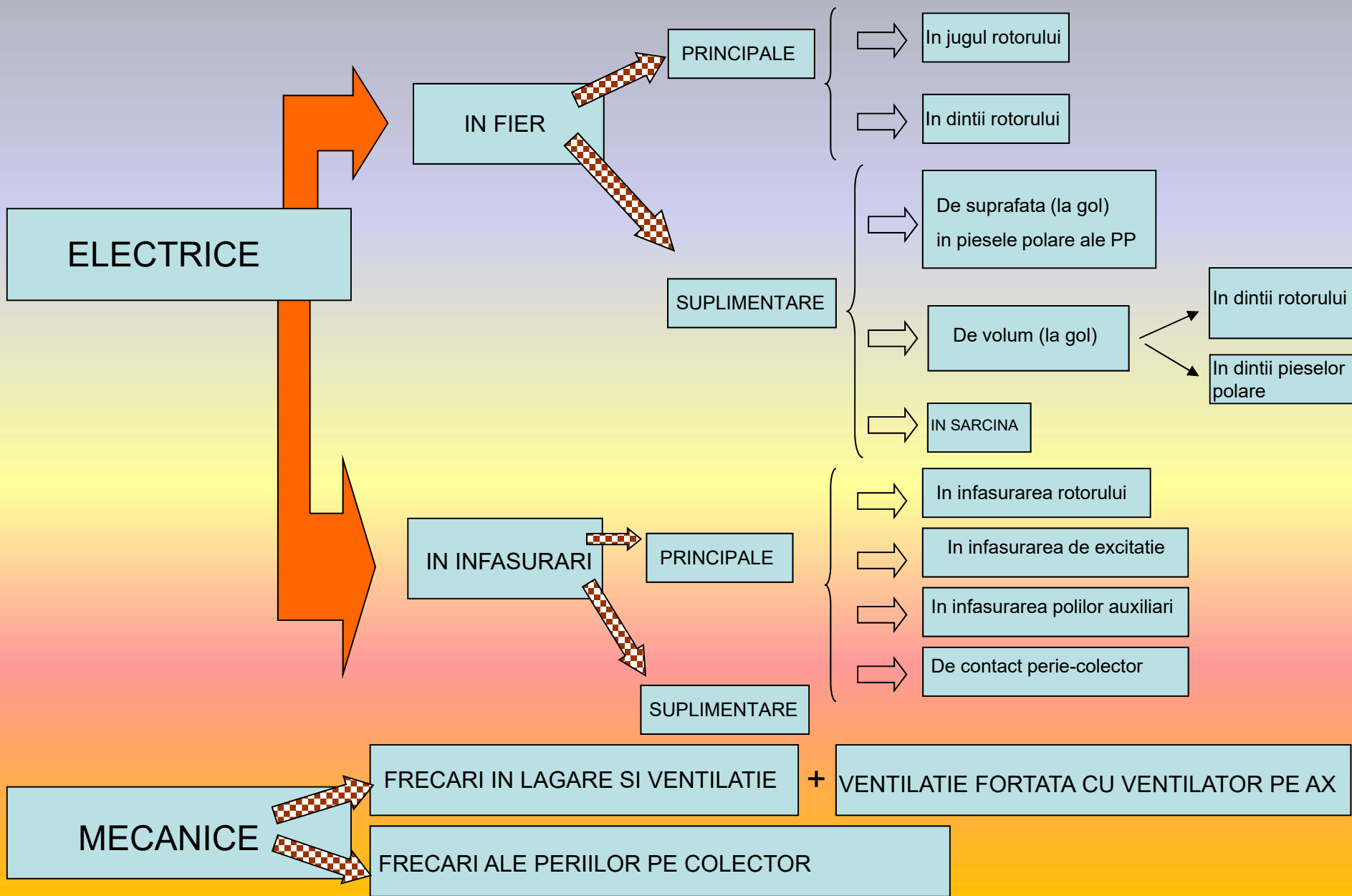
IN DINTI

VENTILATIE
FORTATA CU
VENTILATOR
PE AX

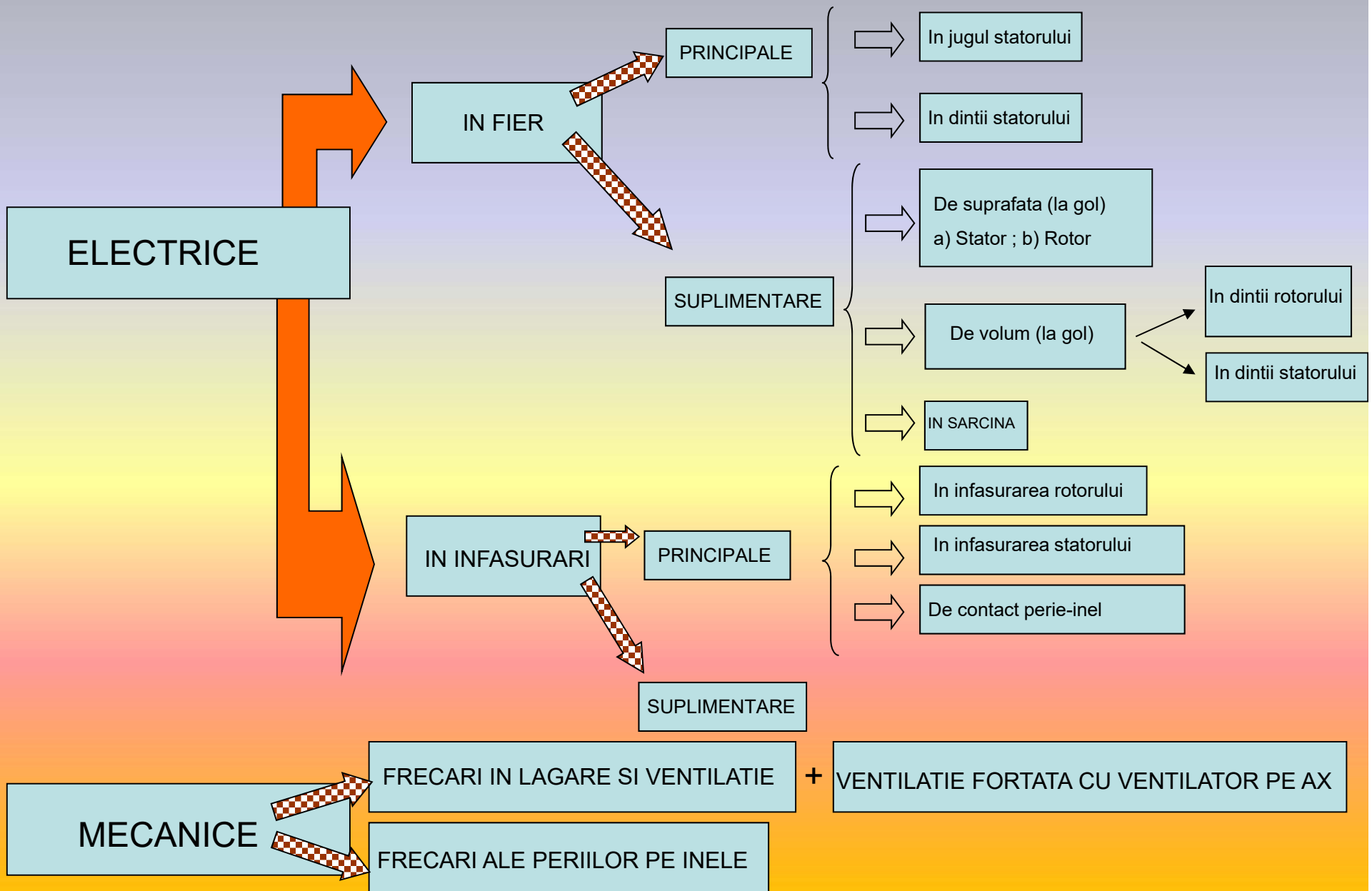
FRECARI IN
LAGARE SI
VENTILATIE

FRECARI
ALE
PERIILOR
PE
COLECTOR
SAU INELE

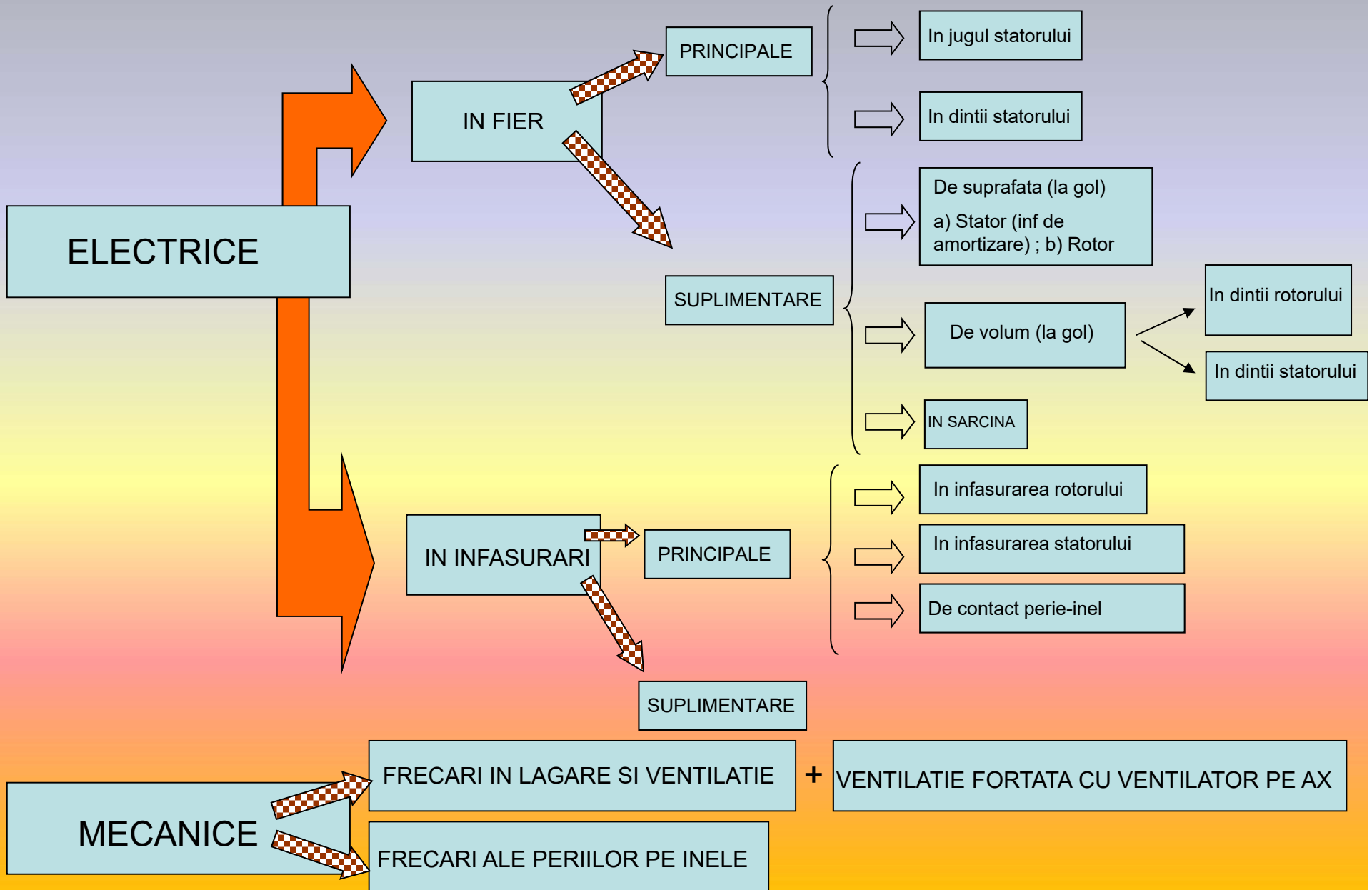
PIERDERI IN MASINA DE CURENT CONTINUU



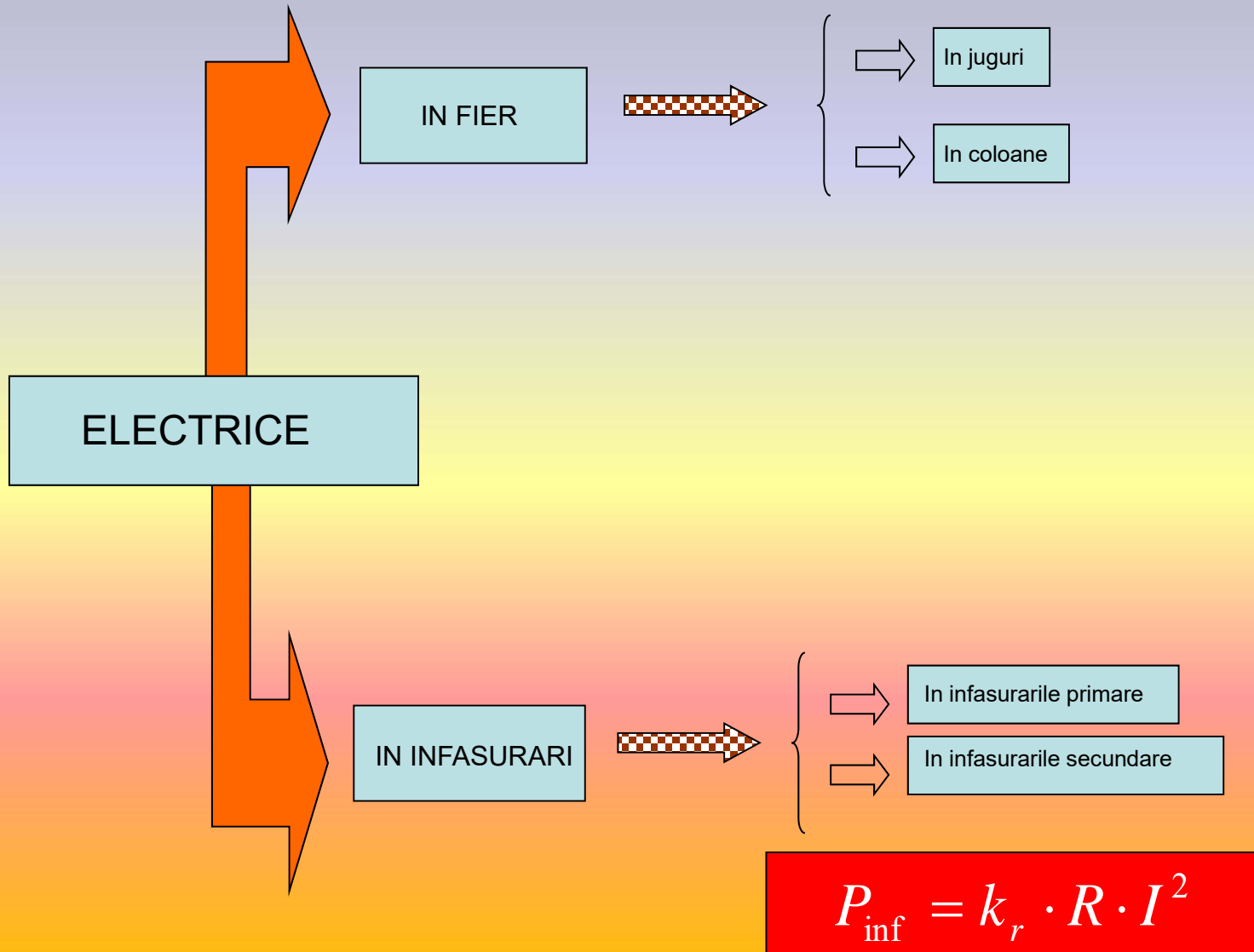
PIERDERI IN MASINA ASINCRONA



PIERDERI IN MASINA SINCRONA



PIERDERI IN TRANSFORMATOR





Solicitări electromagnetice in 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> <p>-Jug: 1,1-1,3T (otel) 0,5-0,6T (fonta)</p> <p>-Pol princ: 1,4-1,6T dinți P.P. max 2T</p> <p>-Pol aux: 0,6-0,8T</p> <p><i>Rotor</i></p> <p>-Jug: 1,3-1,5T -Dinți: max 2,3T (trapez.) max 1,9T (p. paraleli)</p>	<p><i>Stator</i></p> <p>-Jug: 1,35-1,55T -Dinți: max 2,1T (trapez.) 1,4-1,7T (p. paraleli)</p> <p><i>Rotor</i></p> <p>-Jug: 1,2-1,6T -Dinți: max 2,2T (trapez.) 1,5-1,8T (p. paraleli)</p>	<p><i>Stator</i></p> <p>-Jug: 1,35-1,55T -Dinți: max 2,1T (trapez.) 1,4-1,7T (p. paraleli)</p> <p><i>Rotor</i></p> <p>Cu poli aparenti -miezul polului: 1,5-1,6T -jug: 1,2-1,4T (otel.) 0,8-1T (fonta)</p> <p>Cu poli înecați Idem stator</p>	<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> <p>-$n \geq 1500$: $J_a = 6,5-7,5 \text{ A/mm}^2$ -$n \leq 500$: $J_a = 3,5-5,5 \text{ A/mm}^2$</p> <p><i>Stator</i></p> <p>-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>	<p><i>Rotor</i></p> <p>-bobinat: $J_2 = (1,1-1,15) J_1$</p> <p>-sc: $J_2 = 3-5,5 \text{ A/mm}^2$ (Al) $J_2 = 5,5-8 \text{ A/mm}^2$ (Cu)</p> <p><i>Stator</i></p> <p>-$U_n \geq 1000$: $J_1 = 5-6,5 \text{ A/mm}^2$ -$U_n \leq 1000$: $J_1 = 5,5-7,5 \text{ A/mm}^2$</p>	<p><i>Rotor</i></p> <p>Cu poli aparenti $J_2 = 2,5-4 \text{ A/mm}^2$ Cu poli înecați $J_2 = 4-6 \text{ A/mm}^2$</p> <p><i>Stator</i></p> <p>-$U_n \geq 1000$: $J_1 = 5-7 \text{ A/mm}^2$ -$U_n \leq 1000$: $J_1 = 5,5-7,5 \text{ A/mm}^2$</p>	<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>

**DEPENDENTA PUTERII INTERIOARE
A MASINILOR ELECTRICE DE
DIMENSIUNILE GEOMETRICE SI
SOLICITARILE ELECTROMAGNETICE**

Masini de curent alternativ

Puterea interioara:

$$S_i = mEI$$

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

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

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

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

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

Masini 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:

$$S_i = mEI$$

$$E = \pi\sqrt{2}f \cdot w \cdot \Phi \qquad I = \frac{A \cdot L_c}{w}$$

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

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

**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

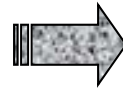
Volumul mașinilor ($D^2 \cdot l_i$)

PROPORTIONAL cu
puterea (S_i)

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

CONSECINTE

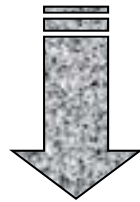
☞ Dacă se da puterea și viteza de rotație sau frecvența



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

INDUCTIA, B

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

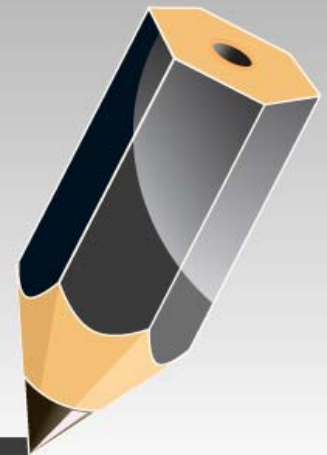
- ☞ Creșterea pierderilor prin histerezis și curenți turbionari în fier, care sunt proporționale cu pătratul inducției și cu frecvența (la puterea 1,3);
- ☞ Creșterea saturației și în consecință, a mărimii curentului de magnetizare;
- ☞ Mărirea curentului de magnetizare duce la micșorarea factorului 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 aceleasi conditii, 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**

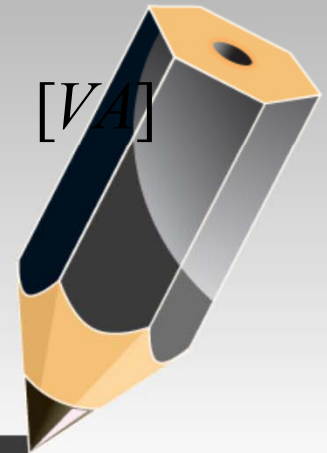
$$S_i = \left(\frac{\pi k_w}{2\sqrt{2}} \alpha_i \right) \pi^2 (D^2 l_i) (AB_\delta) n \quad [VA]$$

**Masini de curent
continuu**

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

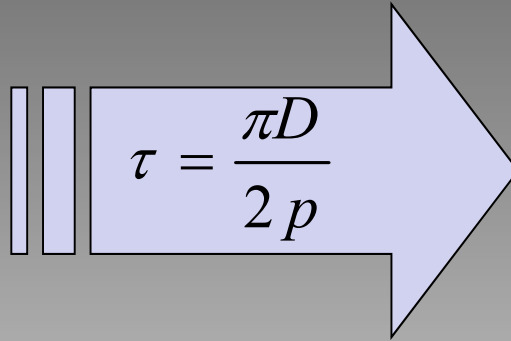
Transformatoare

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

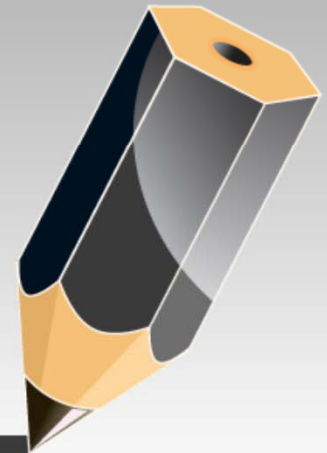


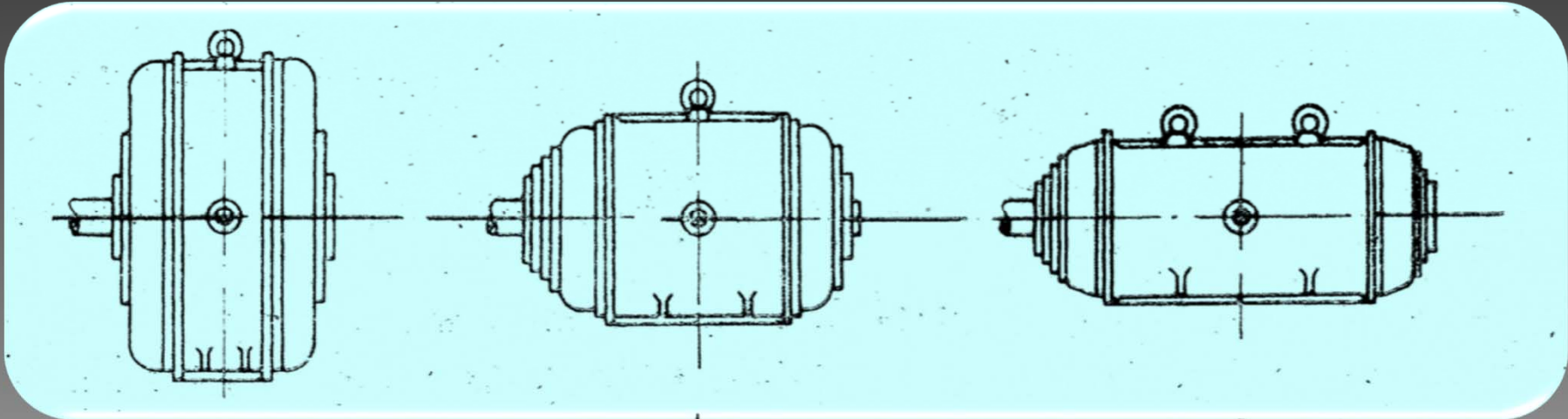
Factor de forma (coeficient de suplete)

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



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





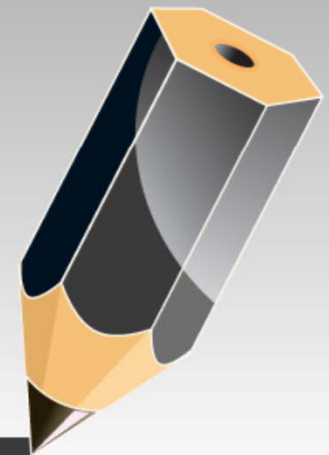
λ – valoare mica

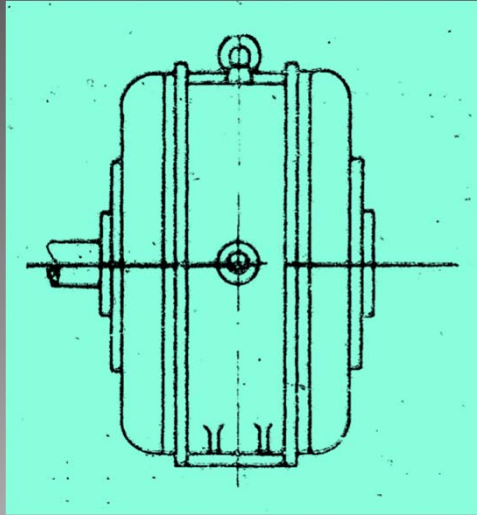
Maşina tip „şaibă”

λ – valoare medie

λ – valoare mare

Maşina „turbo”





Masina tip saiba



Avantaje

- ✓ Moment de volant $G \cdot D^2$ –mare
- ✓ Racire buna

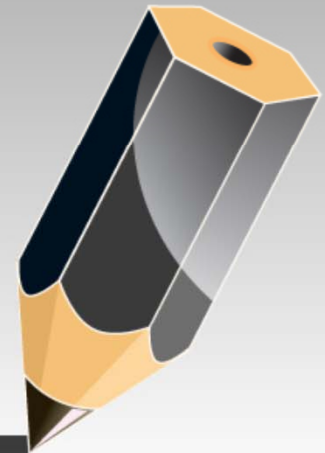


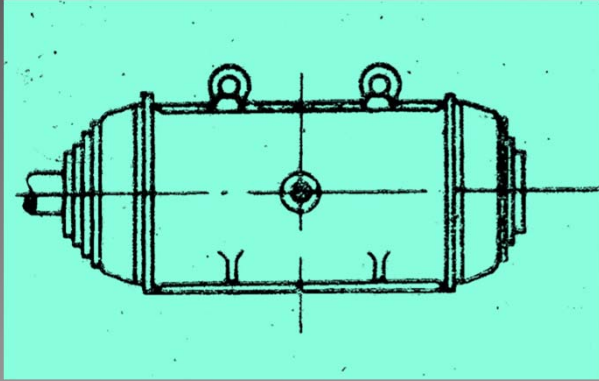
Dezavantaje

- ✦ Utilizare nerationla a conductoarelor
- ✦ Constructie voluminoasa (scuturi si lagare)

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

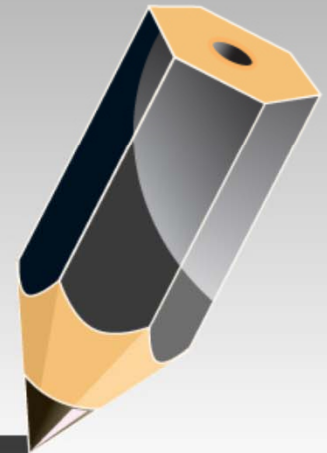


Dezavantaje

- ✚ Necesitatea divizării miezului și a canalelor axiale pentru răcire

Aplicație caracteristică

Servomotoare, mașini cu viteză ridicată



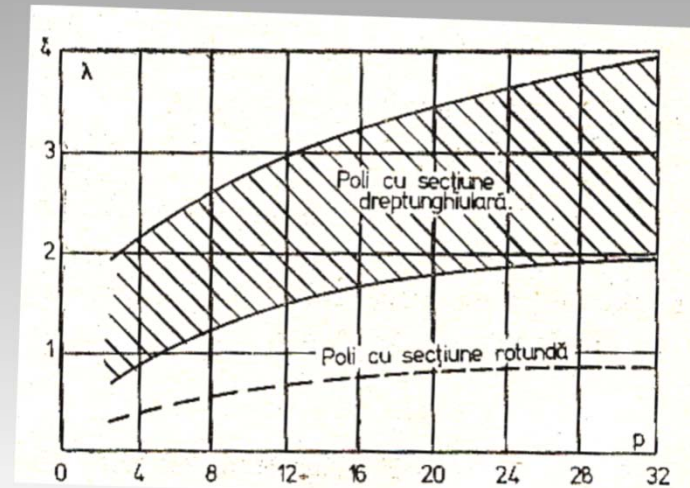
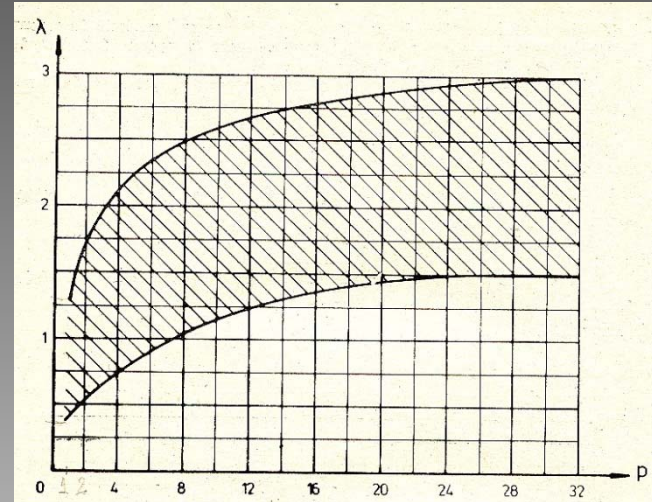
Masina de C.C

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

Masina asincrona

Masina sincrona

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

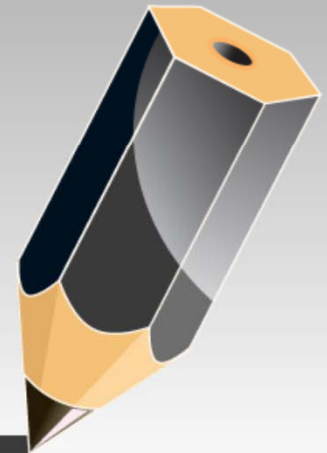


Coeficientul de utilizare

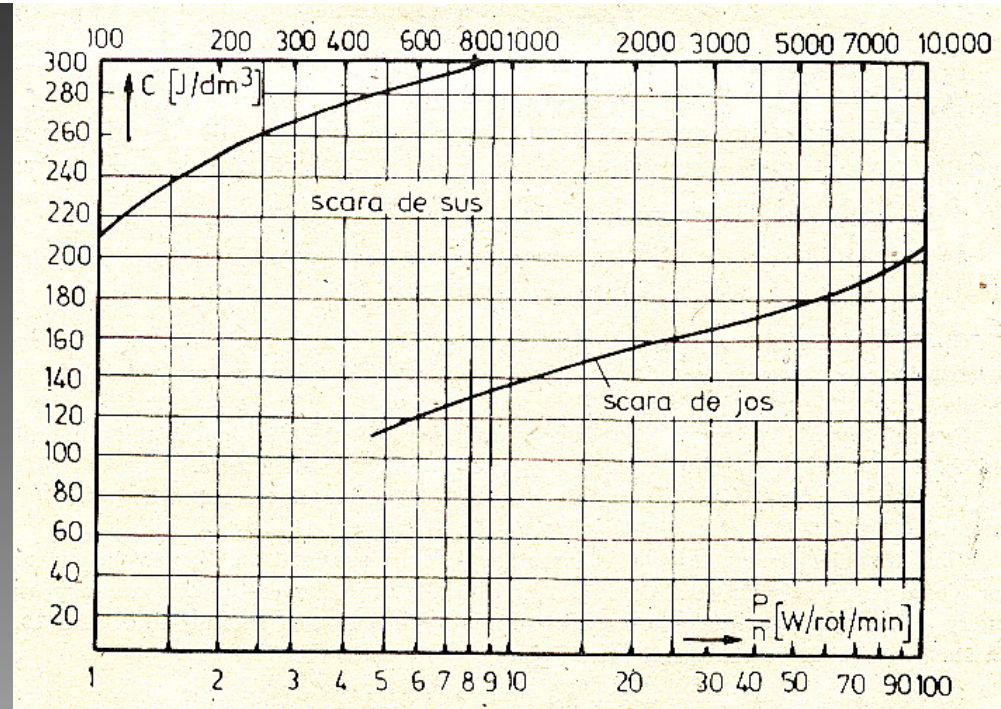
$$C = \frac{S_i}{D^2 l_i n} \quad [J/dm^3]$$

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

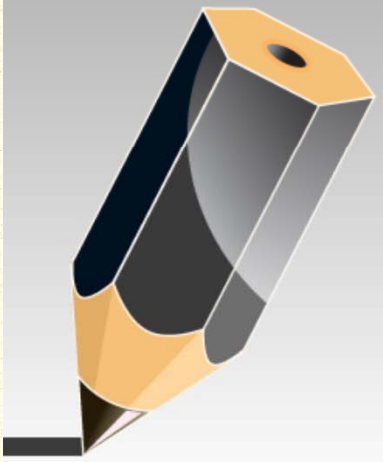
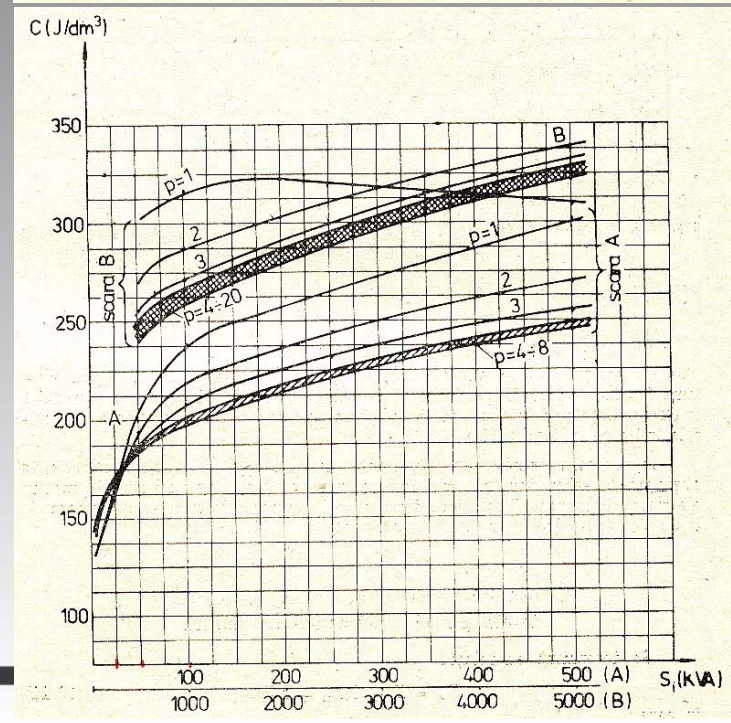
$$C = k_i \pi^2 AB_\delta$$



Masina de C.C



Masina asincrona si sincrona





Calculul lățimii întrefierului

Masini 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 crestaturii (semiinchise, semideschise, deschise)
- putere (sub sau peste 100 kW)
- existenta infasurarii de compensatie

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



Masini cu reglaj de viteza

Masini sincrone

Reason behind: reactanta sincronă longitudinală, x_d , să aiba o anumită valoare (de valoarea ei depind stabilitatea statica, capacitatea de suprasarcina, curentul de scurtcircuit si dimensiunea infasurarii de excitatie) si anume:

- masini cu poli aparenti sau varianta combinata
- compensator sincron

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

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

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

- pentru varianta combinata

- intre piesele polare

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

- masini cu poli inecati

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

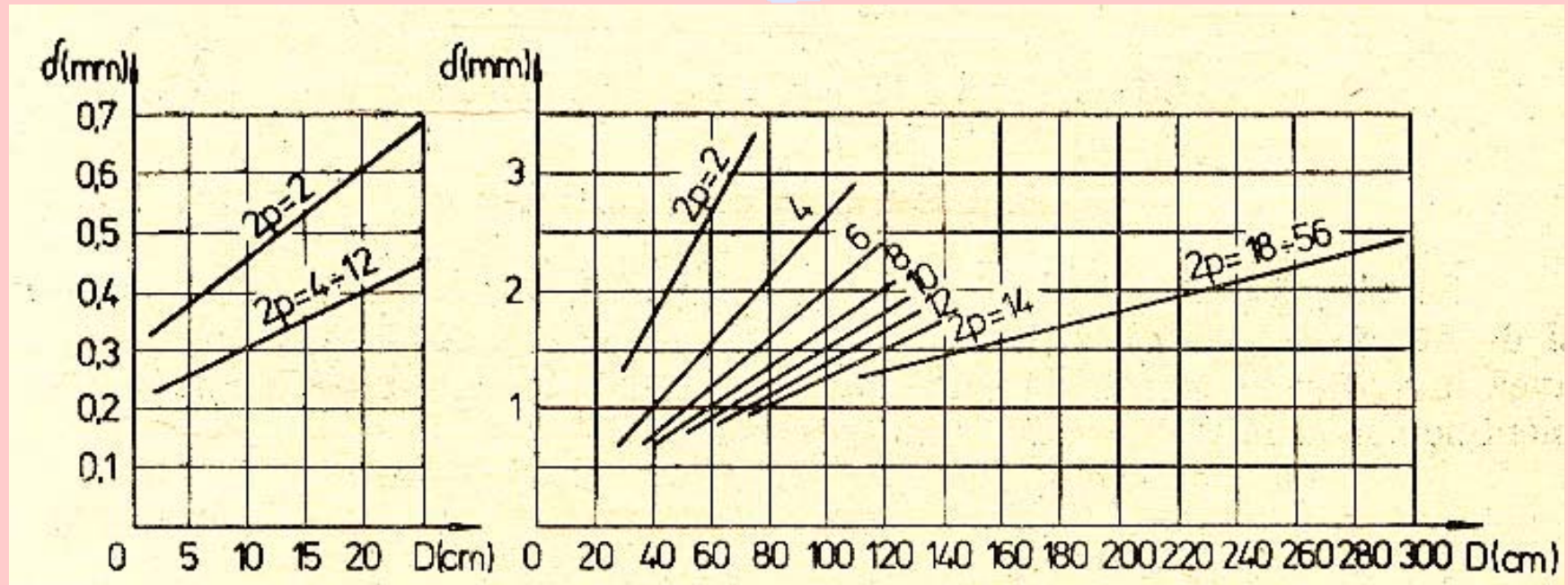
- turbogeneratoare

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

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

Masini asincrone

Reason behind: intrefier cat mai mic posibil din punct de vedere tehnologic



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

DIMENSIONI IDEALE
DIMENSIONI GEOMETRICE

Dimensiunile geometrice principale ale mașinilor electrice

D

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_{ir}

diametrul interior
al miezului rotoric

l_g

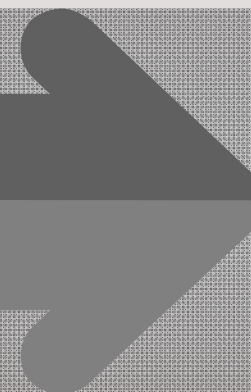
lungimea geometrică
a miezului
feromagnetic

diametrul exterior
al miezului
magnetic statoric

D_e

lățimea
întrefierului

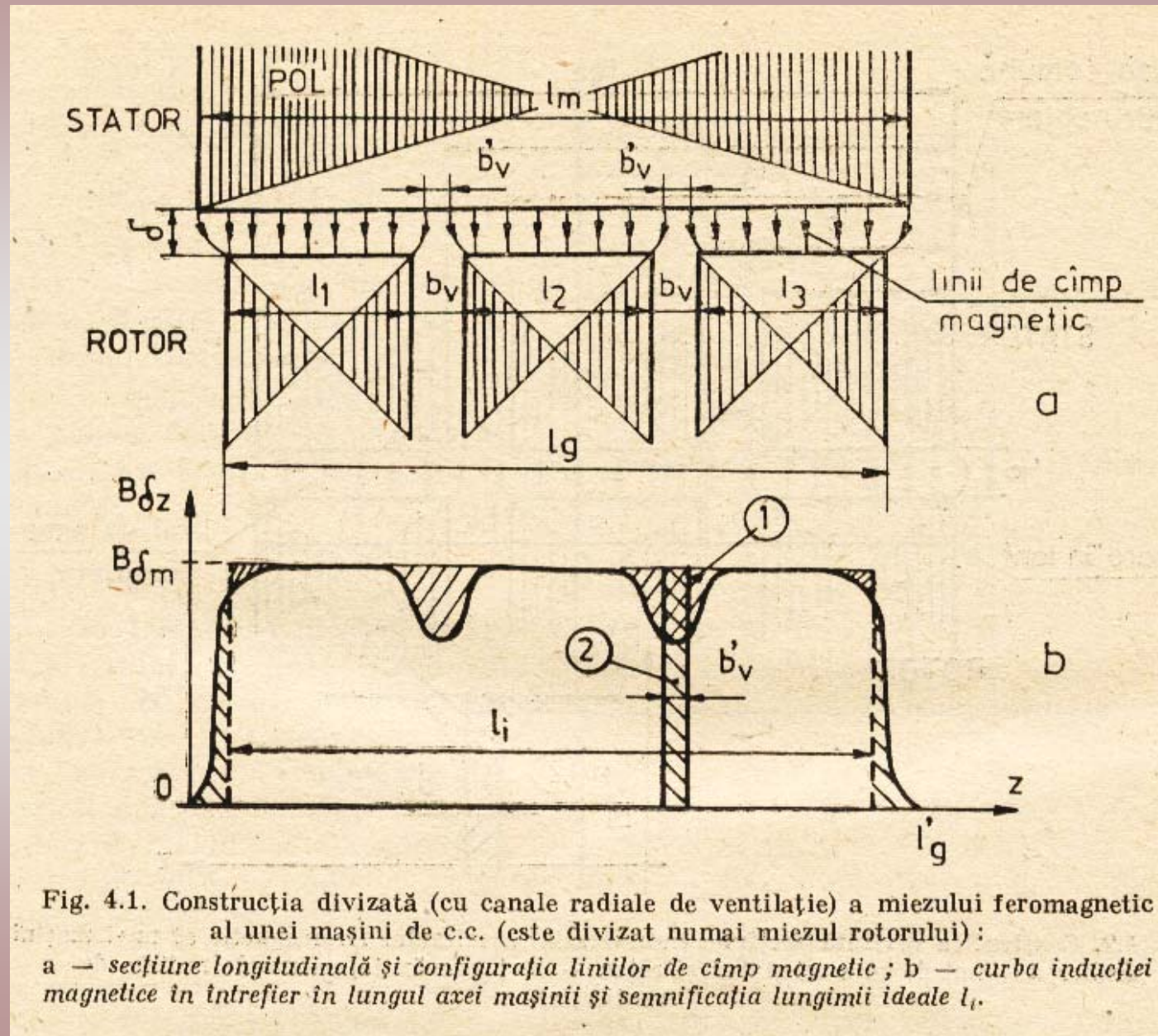
δ



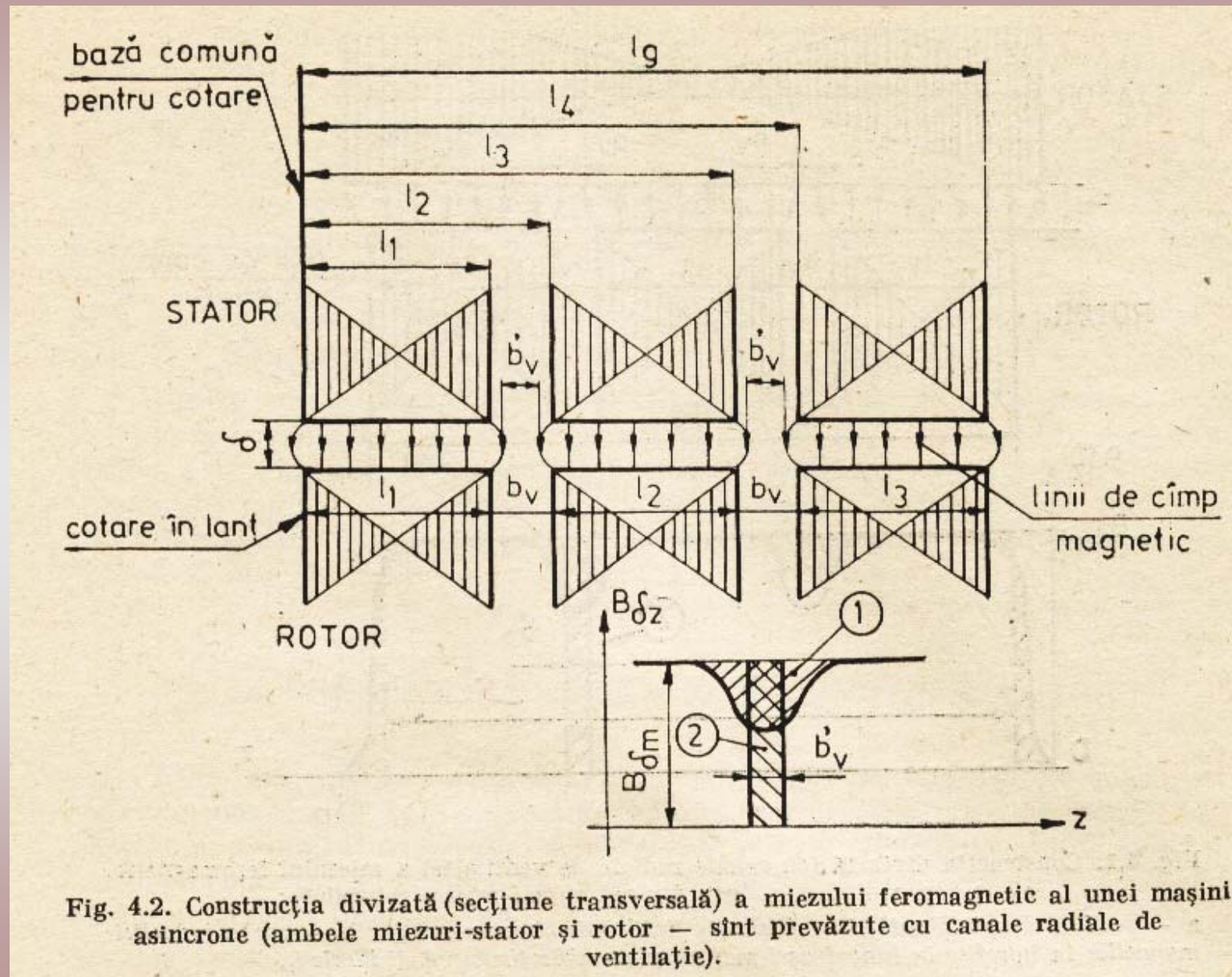
Având în vedere forma complicată a mașinilor electrice, rezultă o neuniformitate a câmpului magnetic atât pe lungime cât și pe circumferința rotorului. Acest fapt complică aplicarea legilor câmpului electromagnetic.

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.)



Masina cu miez divizat pe ambele armaturi (masina asincrona)



Lungimea ideala, l_i

lungimea axiala a miezului feromagnetic ECHIVALENTA cu a unei masini reale dar pe deschiderea careia inductia magnetica in intrefier este constanta si egala cu valoarea maxima

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

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

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

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



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

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



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

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



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

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



Miez compact

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

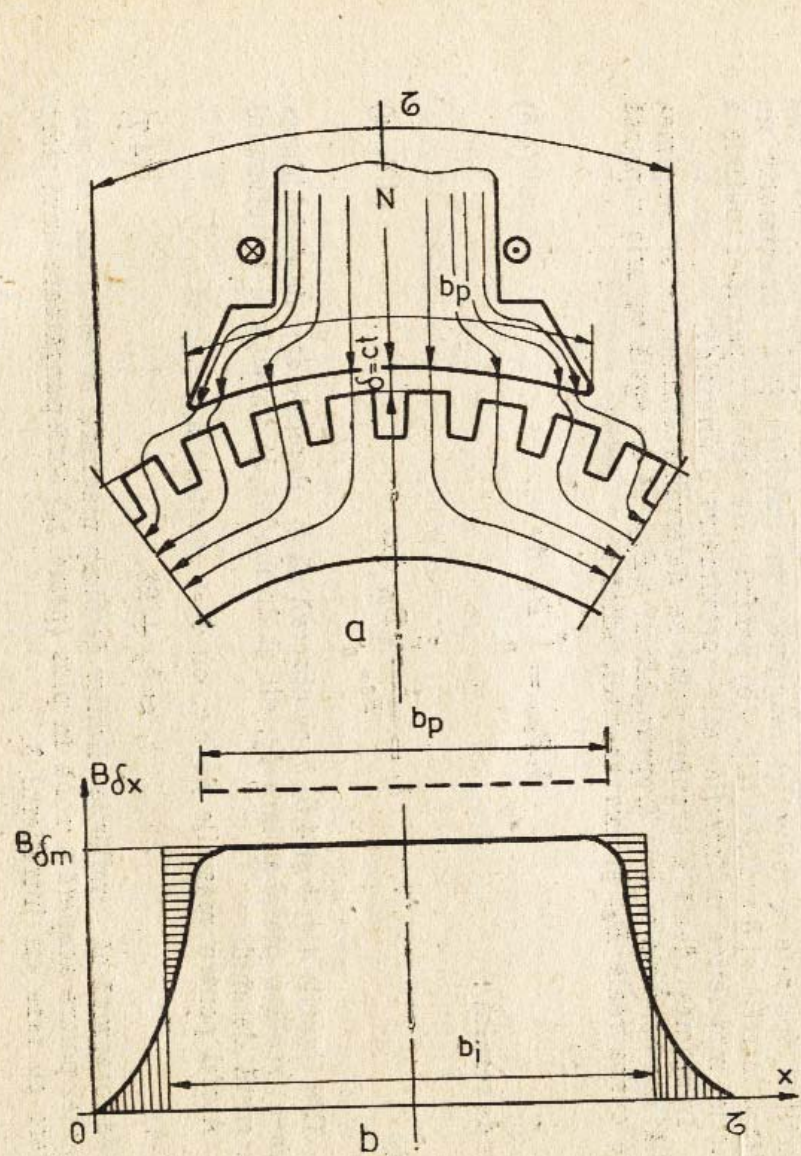


Fig. 4.4. Repartiția spațială, pe deschiderea pasului polar τ , a inducției magnetice în întrefier în cazul cînd $\delta = \text{constant}$ și lungimea ideală a arcului polar (s-au neglijat armonicile dentare).

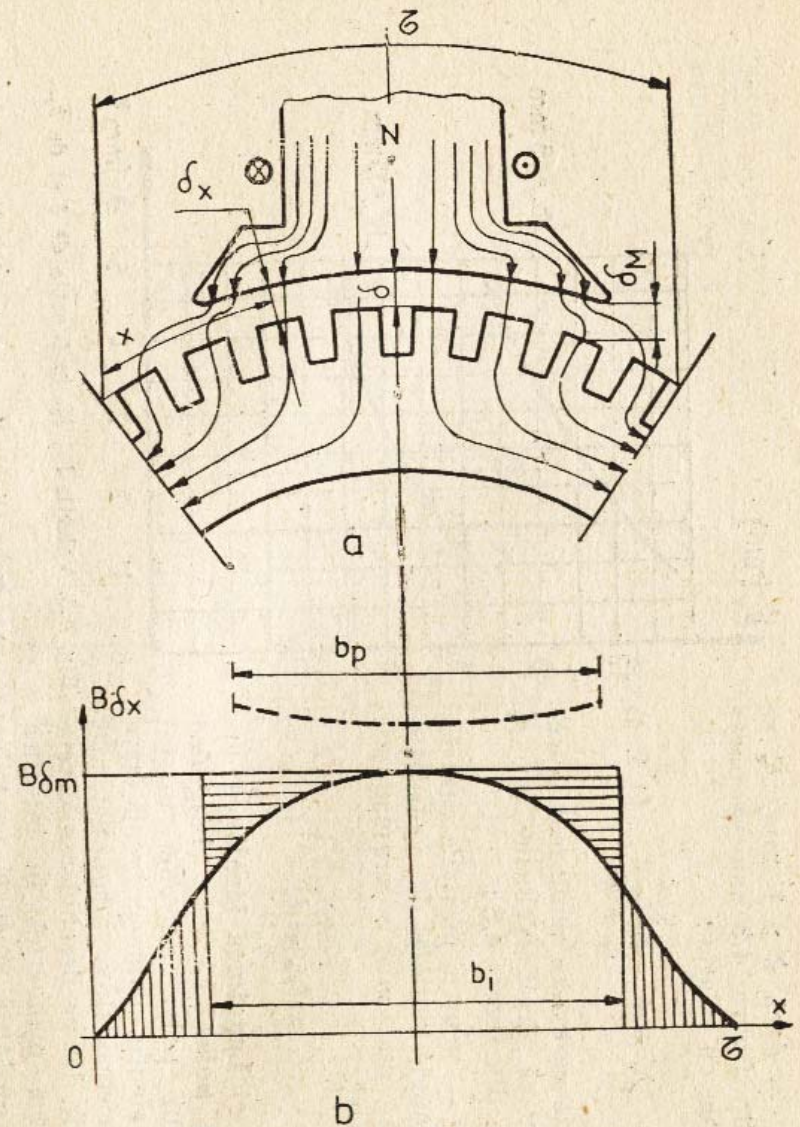


Fig. 4.5. Repartiția spațială (sinusoidală), pe deschiderea pasului polar τ , a inducției magnetice în întrefier în cazul cînd $\delta \neq \text{constant}$ și lungimea ideală a arcului polar (s-au neglijat armonicile dentare).

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

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

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

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

Factorul de acoperire polara, α_p

$$\alpha_p = \frac{b_p}{\tau} \qquad \alpha_i = \frac{b_i}{\tau}$$

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

$\delta = const.$



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

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



$$\alpha_i \approx \alpha_p$$

Inductie magnetica in intrefier sinusoidala



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

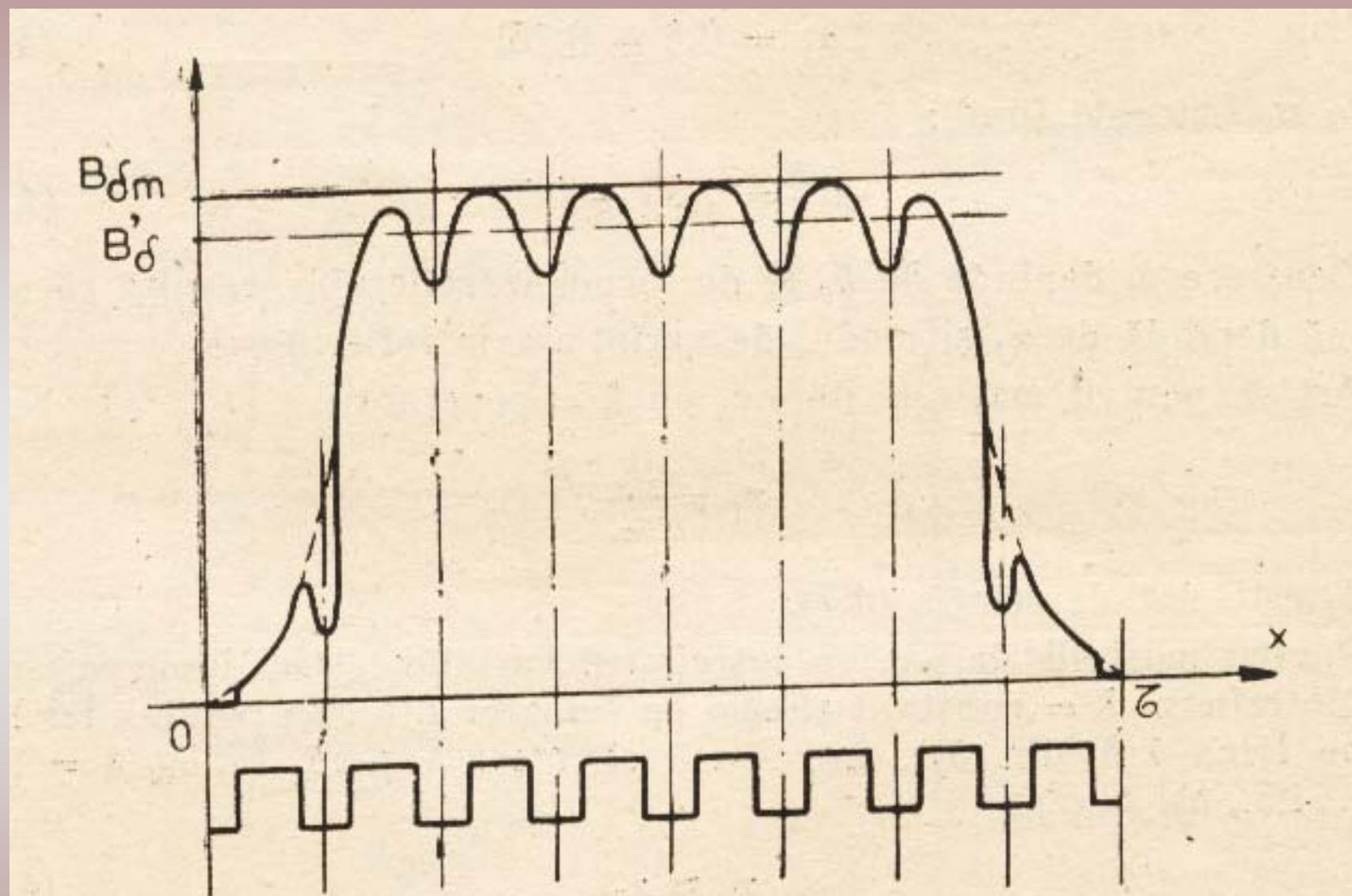


Fig. 4.6. Repartiția spațială, pe deschiderea pasului polar τ , a inducției magnetice în întrefier în cazul când $\delta = \text{constant}$, cu luarea în considerație a influenței creștăturilor.

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_{δ_m} la $B_{\delta'}$ 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_{δ_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);

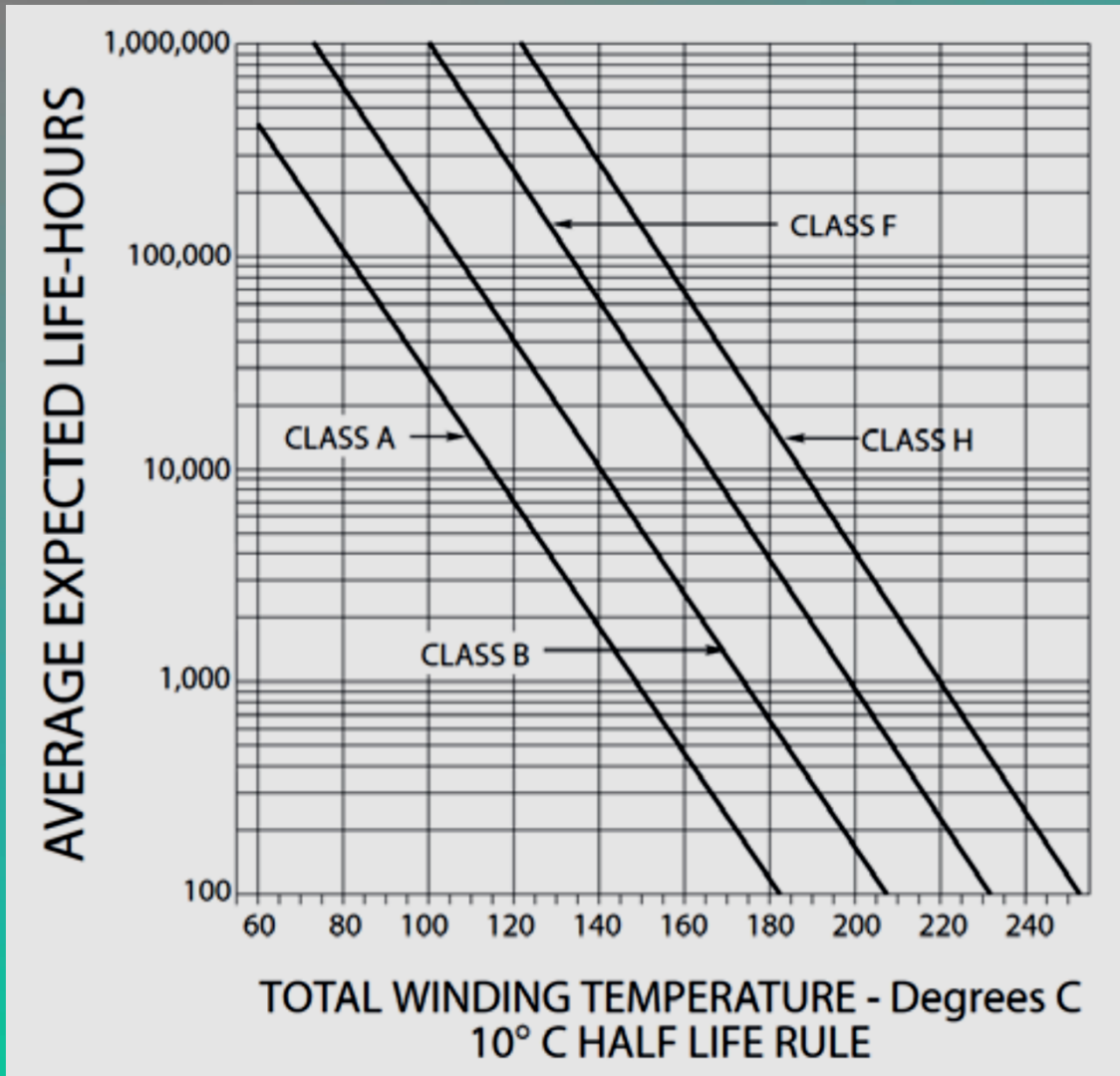
C - peste 180°C (porțelan, cuarț, sticlă).

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]

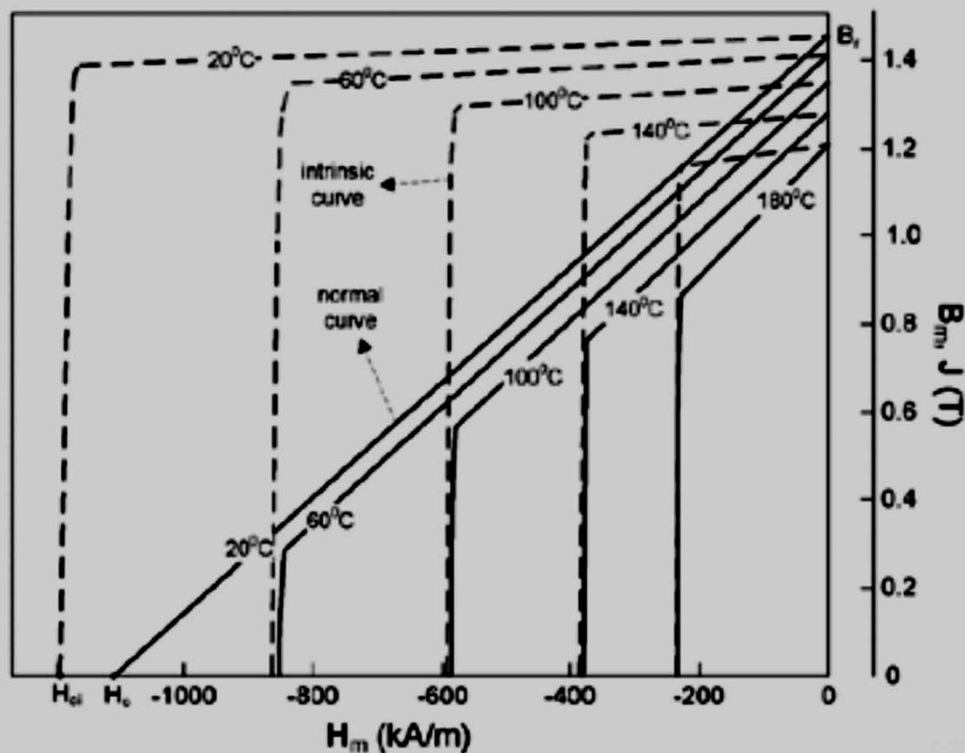
IEC 60085 Thermal class[2]	Old IEC 60085 Thermal class[2]	NEMA Class [3]	NEMA/UL Letter class [3]	Maximum hot spot temperature allowed	Typical materials
70					
90	Y			90°C	Un-impregnated paper, silk, cotton, vulcanized natural rubber, thermoplastics that soften above 90 C [4]
105	A	105	A	105°C	Organic 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.

Managementul temperaturii in funcție de clasele de izolație



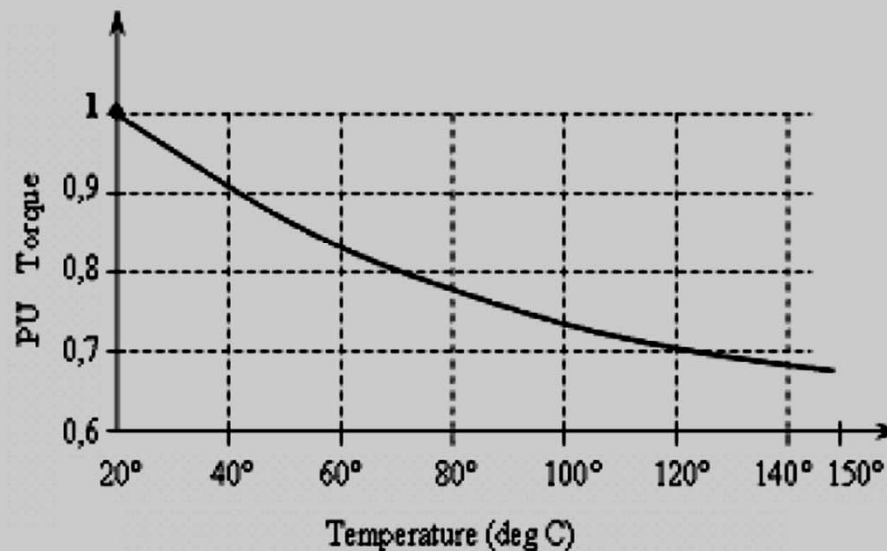
Timpul de viață se ÎNJUMĂTĂȚEȘTE pentru fiecare creștere a temperaturii cu 10°C peste temperatura nominală a clasei de izolație și se DUBLEAZĂ pentru fiecare 10°C sub temperatura nominală a clasei de izolație.

Managementul temperaturii pentru magneți permanenți



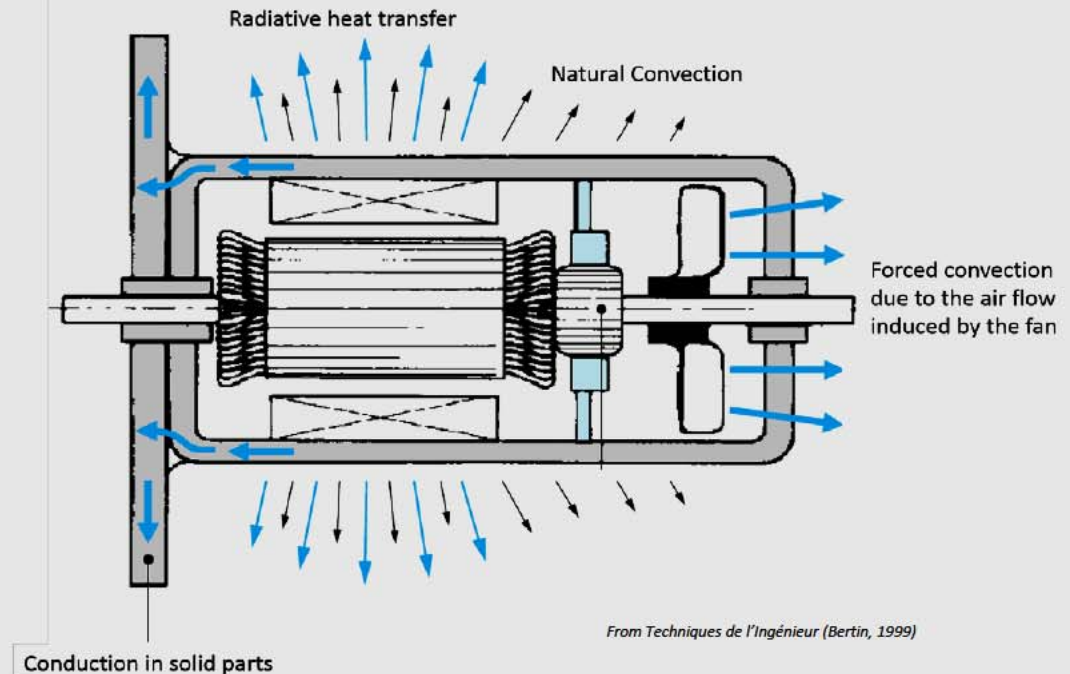
Odată cu creșterea temperaturii se reduce energia magnetică înmagazinată (scad atât inducția remanentă cât și câmpul coercitiv).

Variația cu temperatura a cuplului electromagnetic dezvoltat de o mașina 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



- **Exista trei modalități de transfer al căldurii: conducție, convecție si 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/mK)
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 si depinde de conductivitatea termica.**
- **Materialele izolatoare electrice sunt totodată si bune izolatoare termice.**
- **Aerul este un foarte bun izolator termic, daca nu se mișcă. Daca exista 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 naturala (datorata gradientului de temperatura, de ex. curenții oceanici) si convecție forțată (fluidul se deplasează datorită unor surse exterioare).
- Convecția forțată este principala metoda folosită in 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

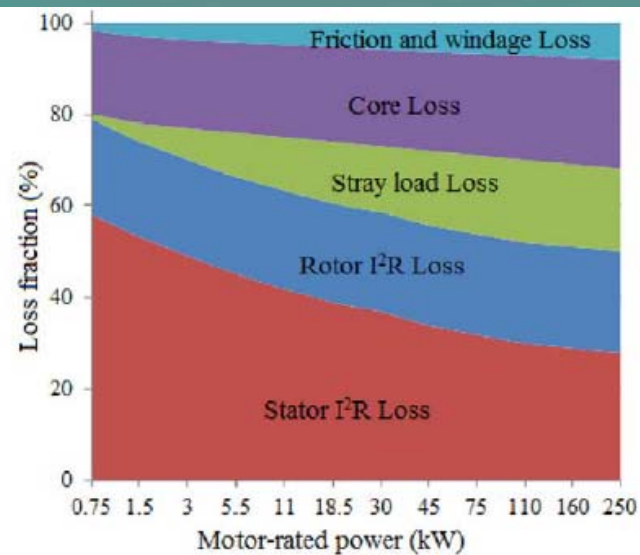
Material	ε
Aluminum (polished)	0.05
Aluminum (strongly oxidized)	0.25
Black electrical tape	0.95
Cast iron (polished)	0.21
Copper (polished)	0.01
Copper (oxidized)	0.65
Galvanized steel	0.28
Ideal Black Body	1
Matt paint (oil)	0.9-0.95
Water	0.98

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

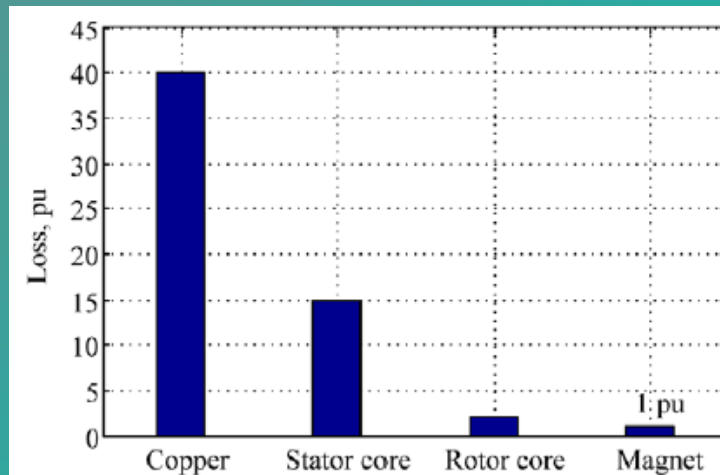
- Fiecare corp emite radiații electromagnetice care depind de temperatura sa.
- In mașinile electrice, adeseori transferul de căldură prin radiație este neglijat datorita diferențelor de temperatura relativ scăzute.

Heat Sources in a Machine: Losses

- Heat in the machine is generated by electromagnetic and mechanical losses
- Losses distribution highly depends on machine topology, load and supply conditions
- **Joule losses** are generated by electric currents in the windings
- **Core losses** include **hysteresis losses**, **eddy-current** and **stray losses**, they are located in the laminations of the machine
- **Magnet losses** are due to eddy currents, they can be high in concentrated winding topologies with surface magnets
- **Mechanical losses** include **friction** and **windage losses** (friction in bearings, aerodynamic friction and drag)



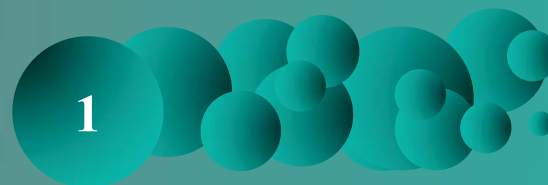
Losses in an 4 poles IM at 50Hz (Yang, 2016)



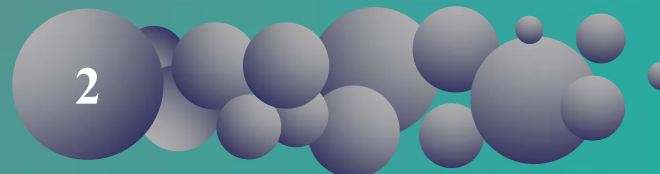
Losses in an IPM machine (Yang, 2016)

Tipuri de ventilație

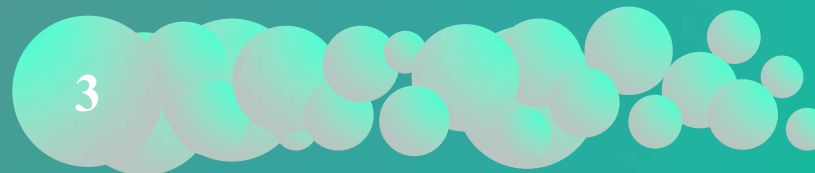
Ventilație naturala



Autoventilație forțată



Ventilație forțată independentă



Agent de racire



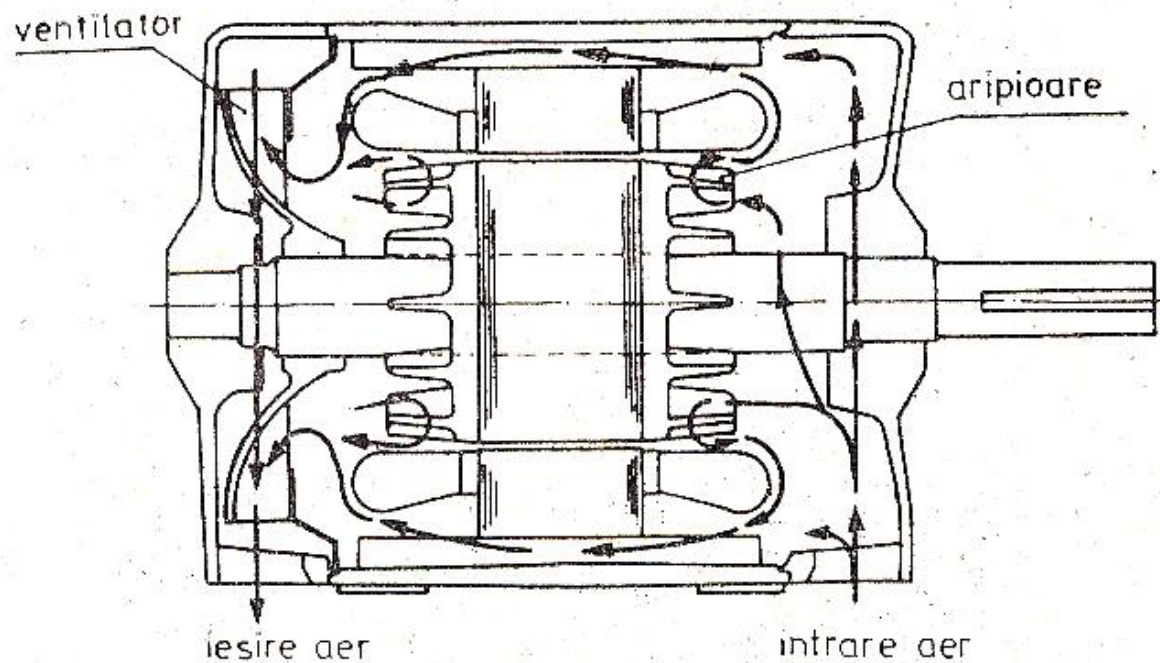


Fig. 1.13. Repartiția curenilor de aer într-un motor asincron de putere mică cu rotorul în scurtcircuit, prevăzut cu ventilator și aripioare în părțile frontale ale coliviei (turnate odată cu coliviei).

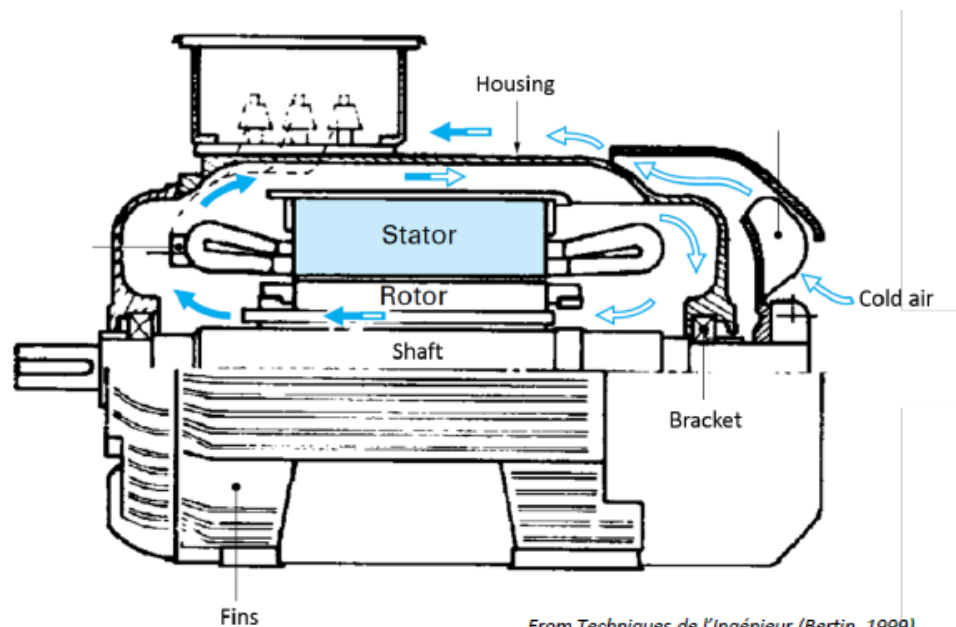
Ventilator interior



Aripioare practicate pe inelele de scurtcircuitare

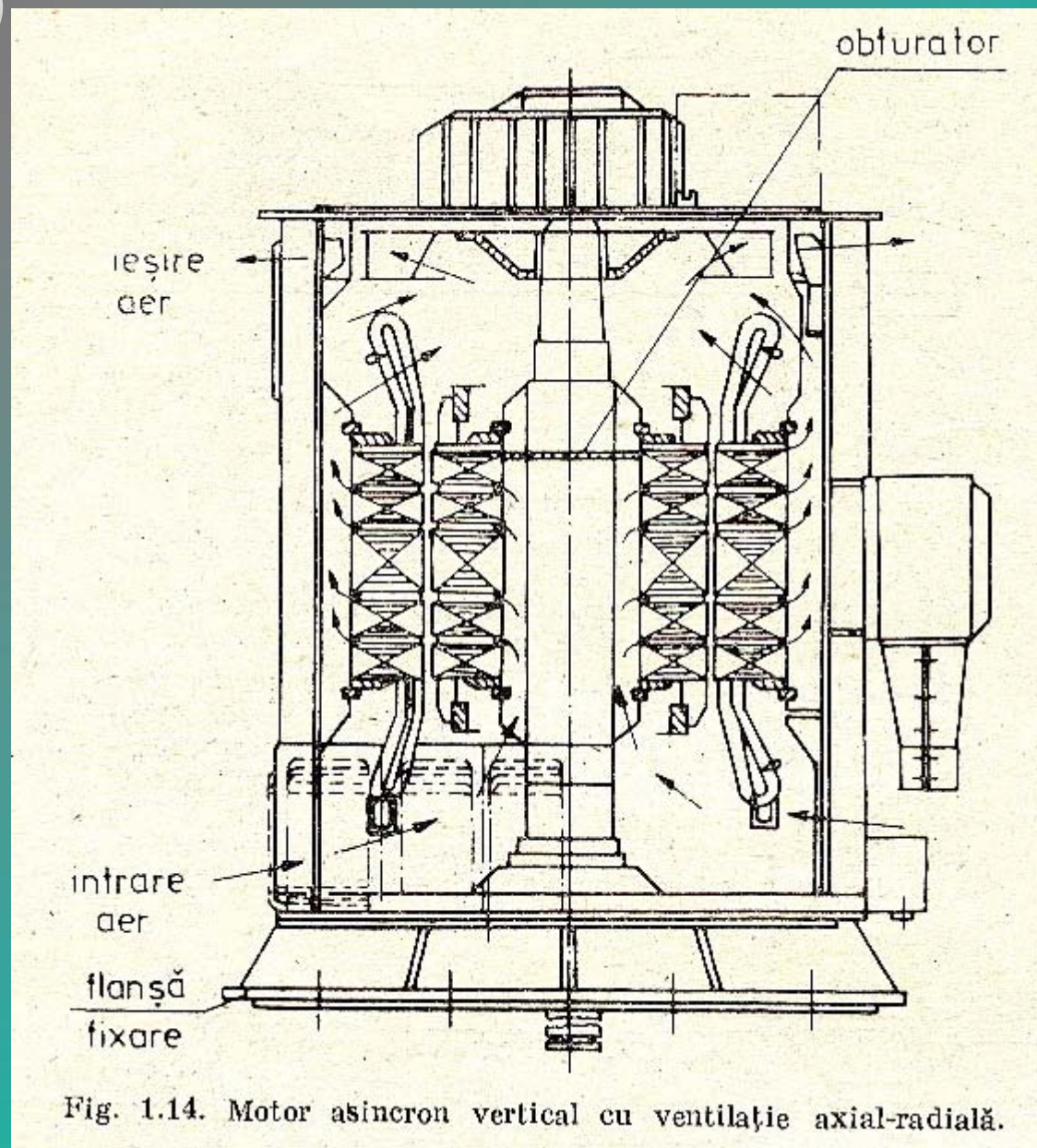
Cooling architectures: Self ventilated machines

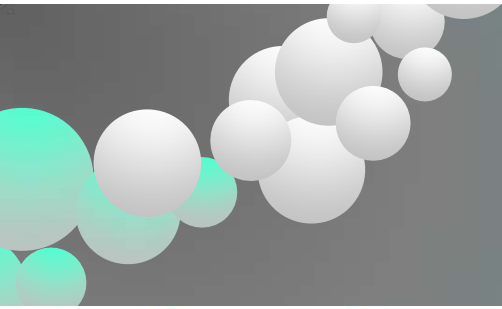
- **Totally enclosed machine:** air motion in the machine is induced by rotation of the rotor, a fan can blow air on the outer surface of the machine.
- **Fins** are often placed on the outer surface of the machine to increase exchange surface
- **Very common architecture** for low voltage motors
- Not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



From Techniques de l'Ingénieur (Bertin, 1999)

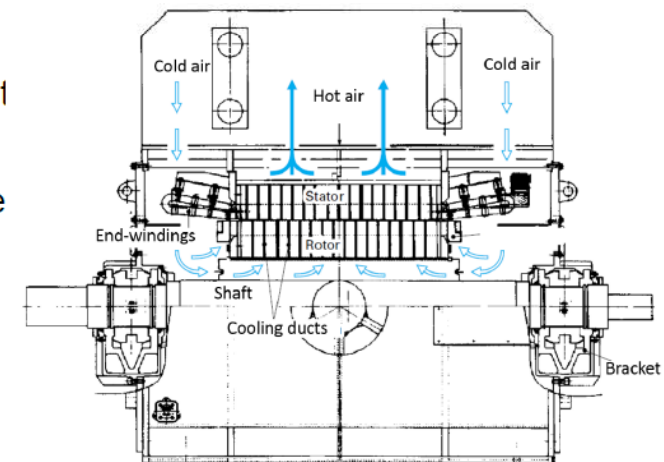
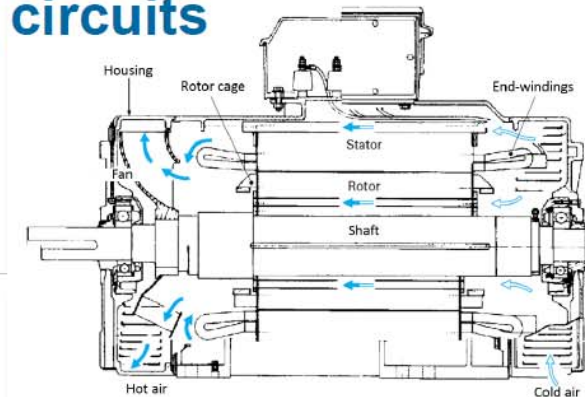
Canale radiale de racire





Cooling architectures: Axial and Radial cooling circuits

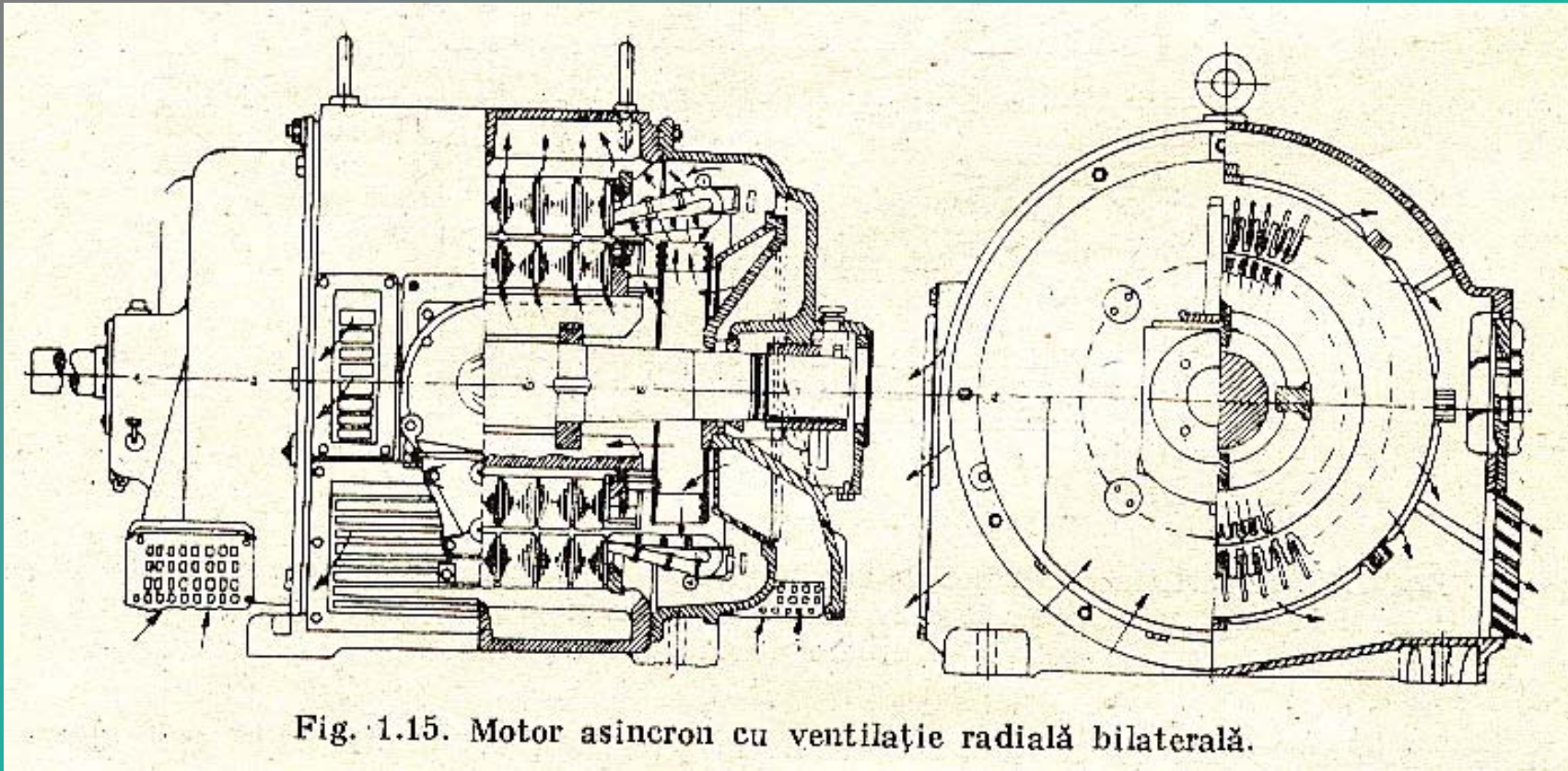
- Air flow is controlled independently and guided inside the machine following either an **axial path** or a **radial path**
- Air is guided inside the rotor and stator by radial and axial **ventilation ducts**
- Topology for air-cooled **high power** machines like wind-turbines
- **Advantages:** good 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 racire + ventilatoare la ambele capete



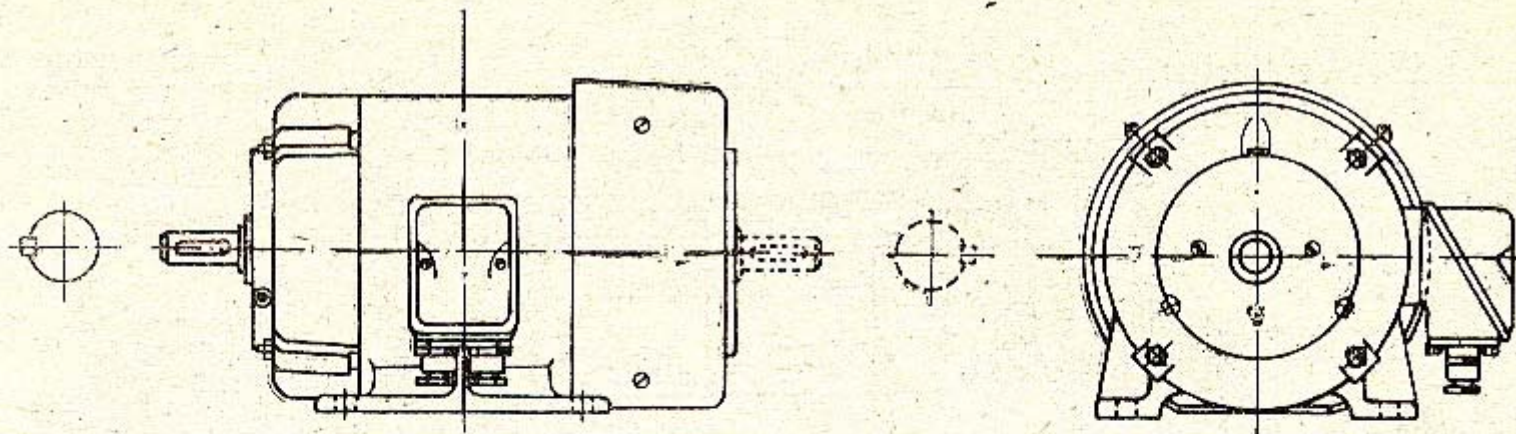


Fig. 1.16. Mașină închisă cu ventilație exterioară și carcasă netedă.

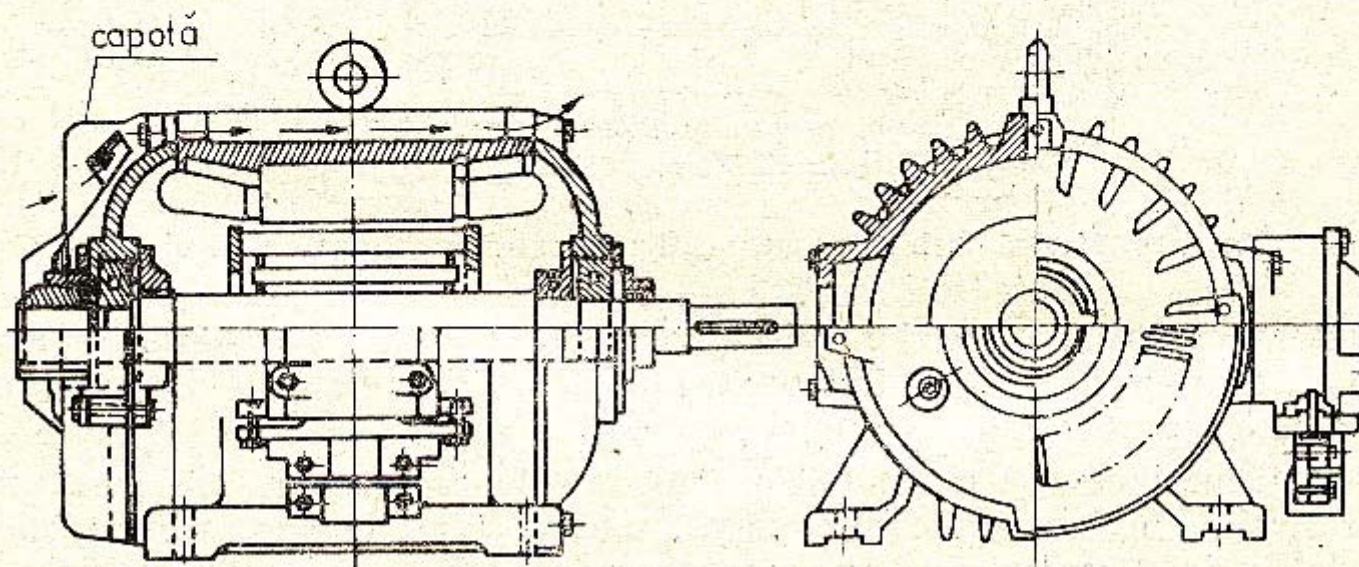
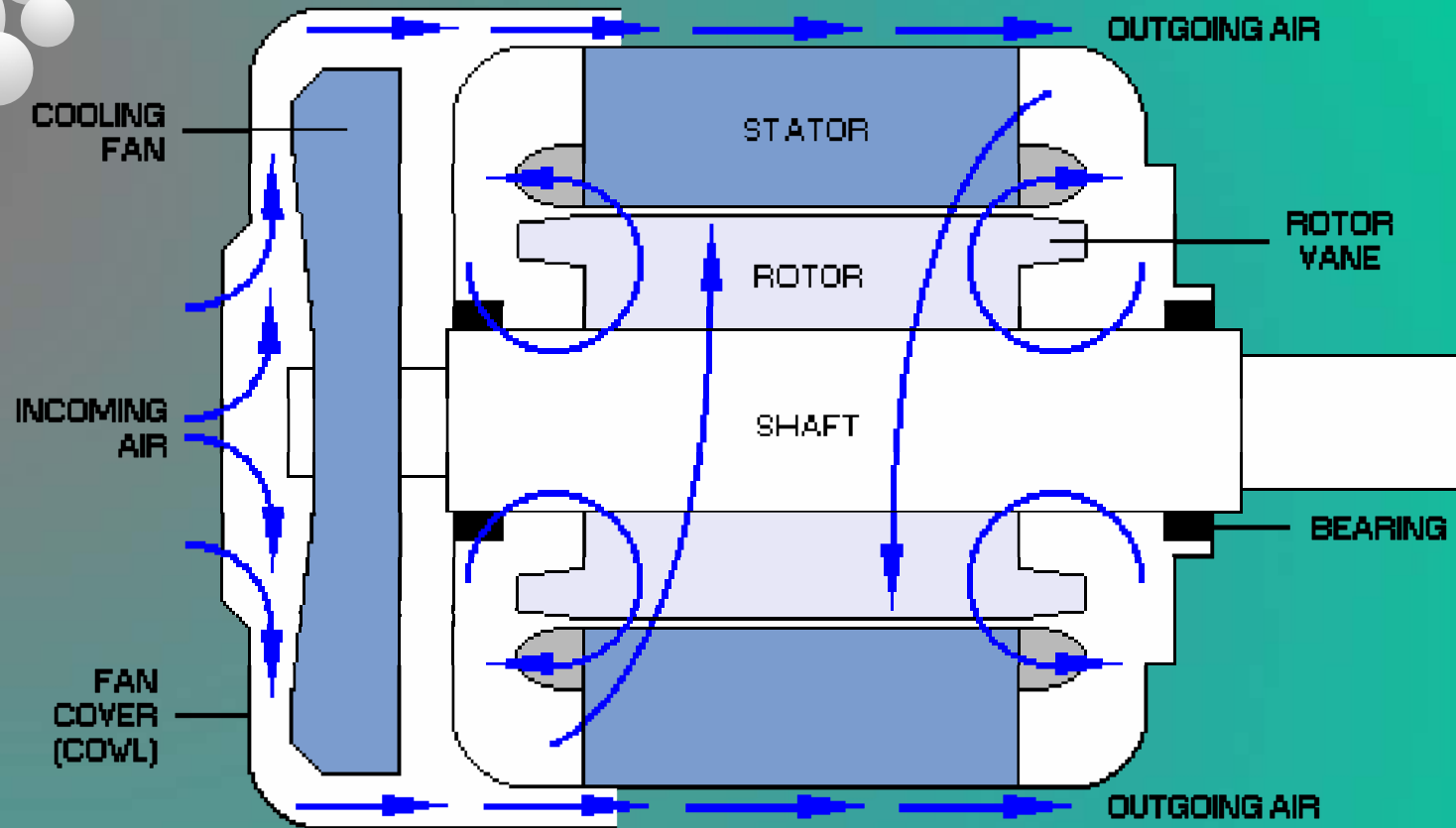


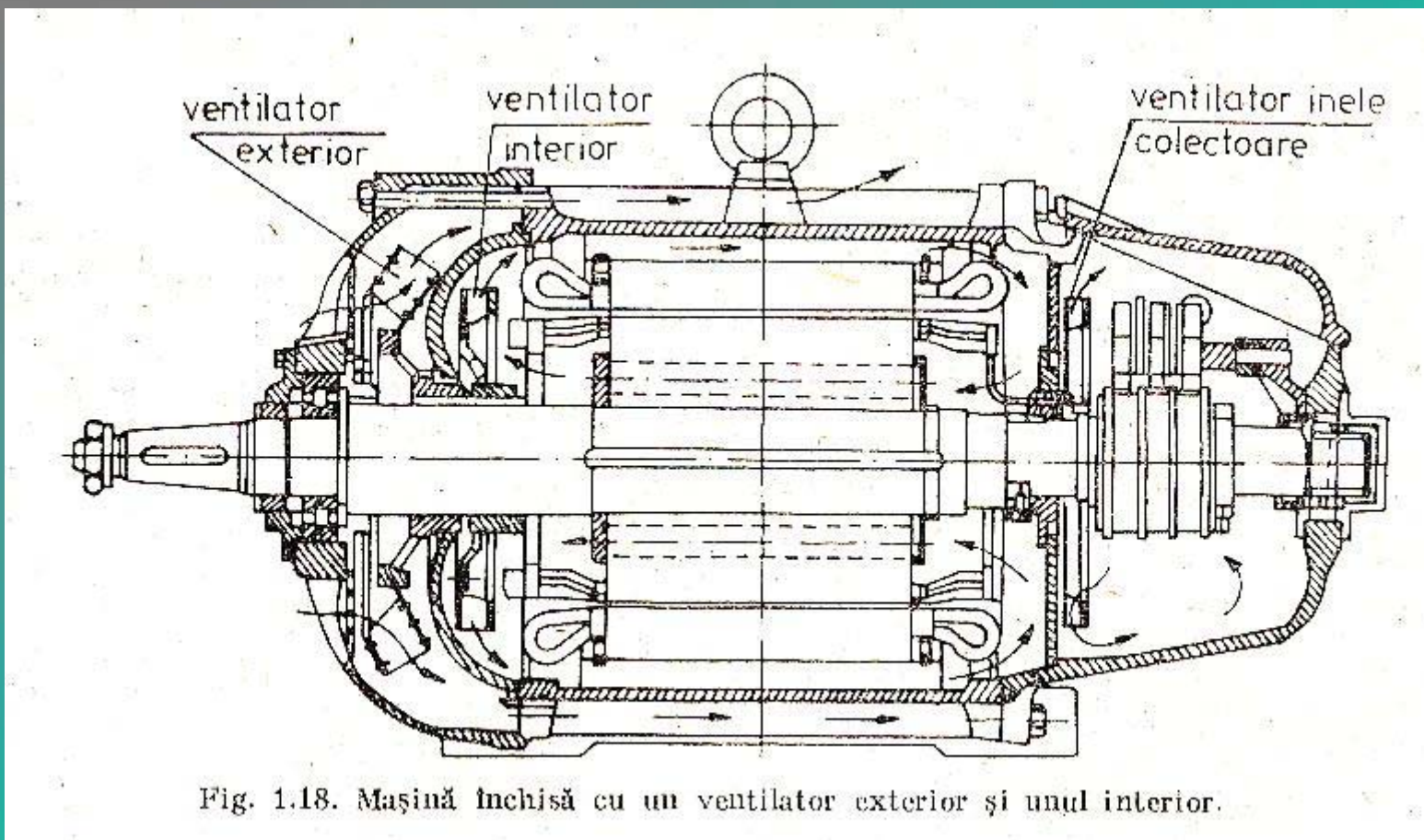
Fig. 1.17. Mașină închisă cu ventilație exterioară și carcasă cu nervuri.



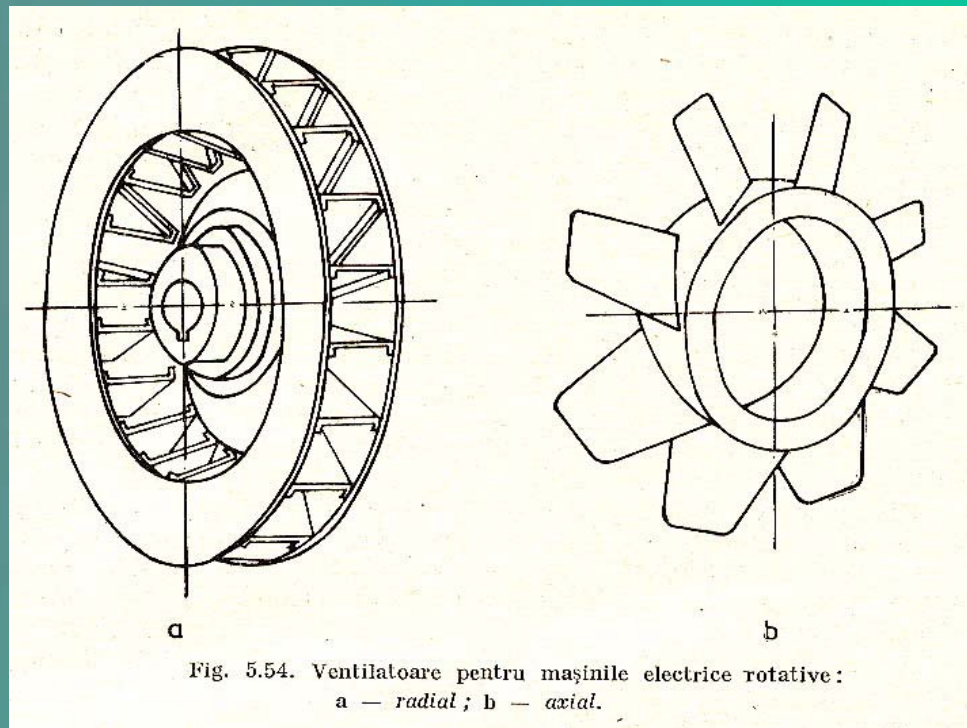
Ventilatorul de pe ax are rolul de a crea un curent de aer pe suprafața carcusei.

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

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



Tipuri de ventilatoare

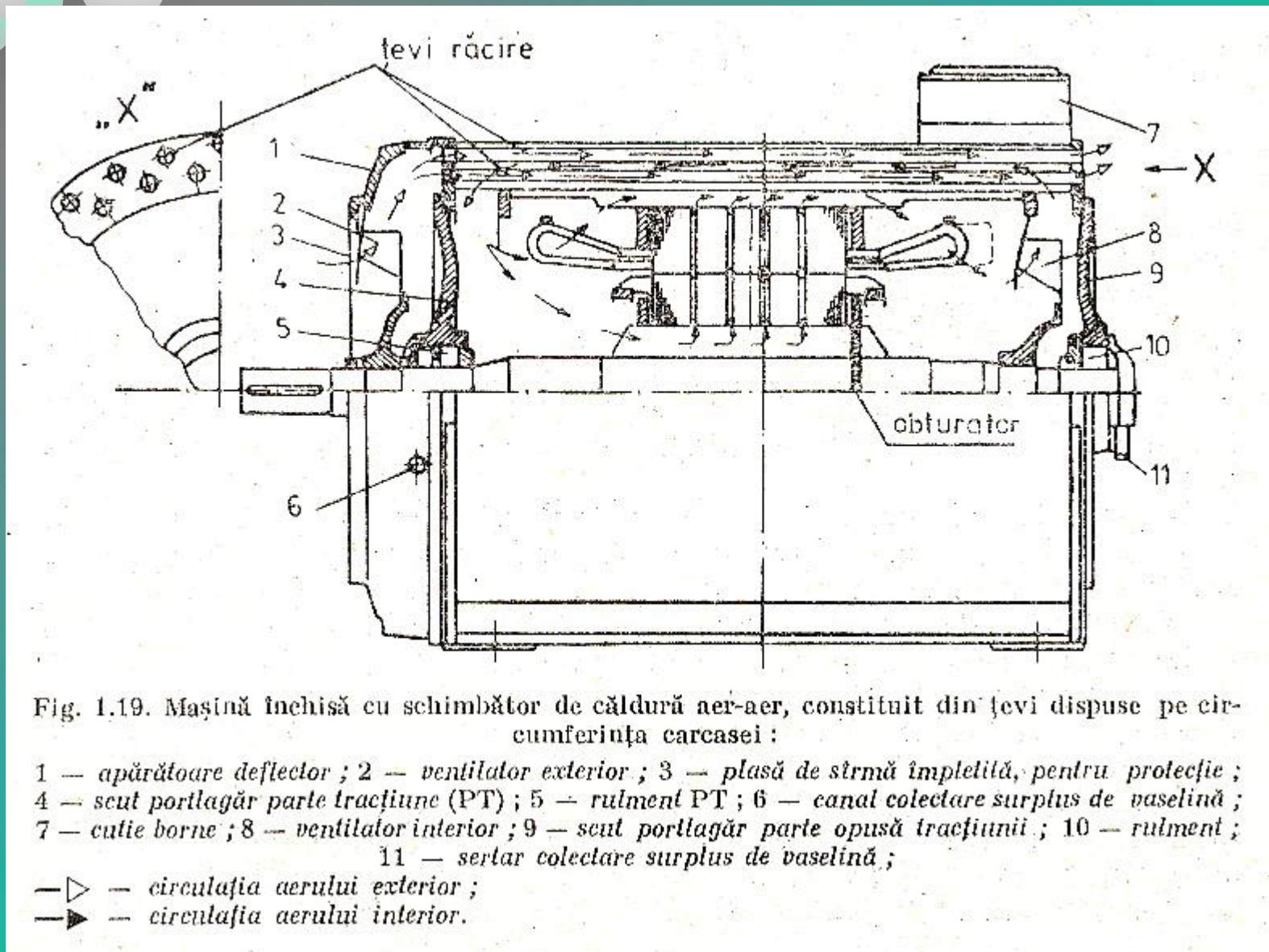


Ventilator montat pe carcasa



REDRC[®]
.NET

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



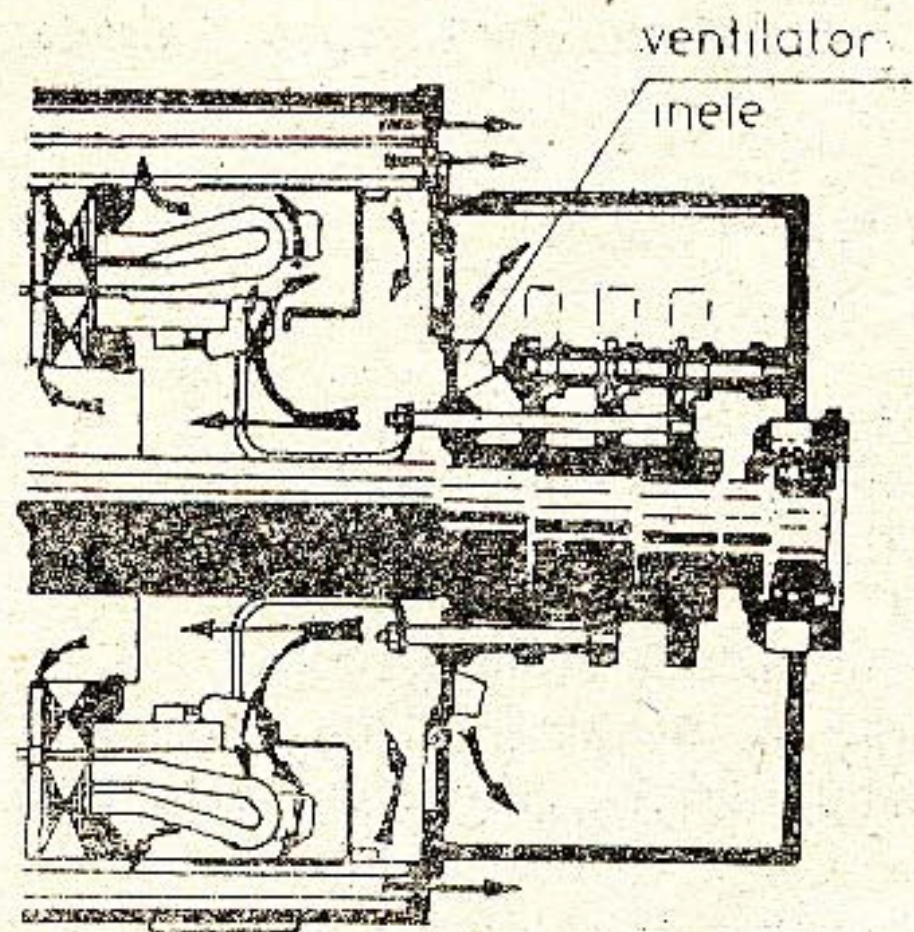
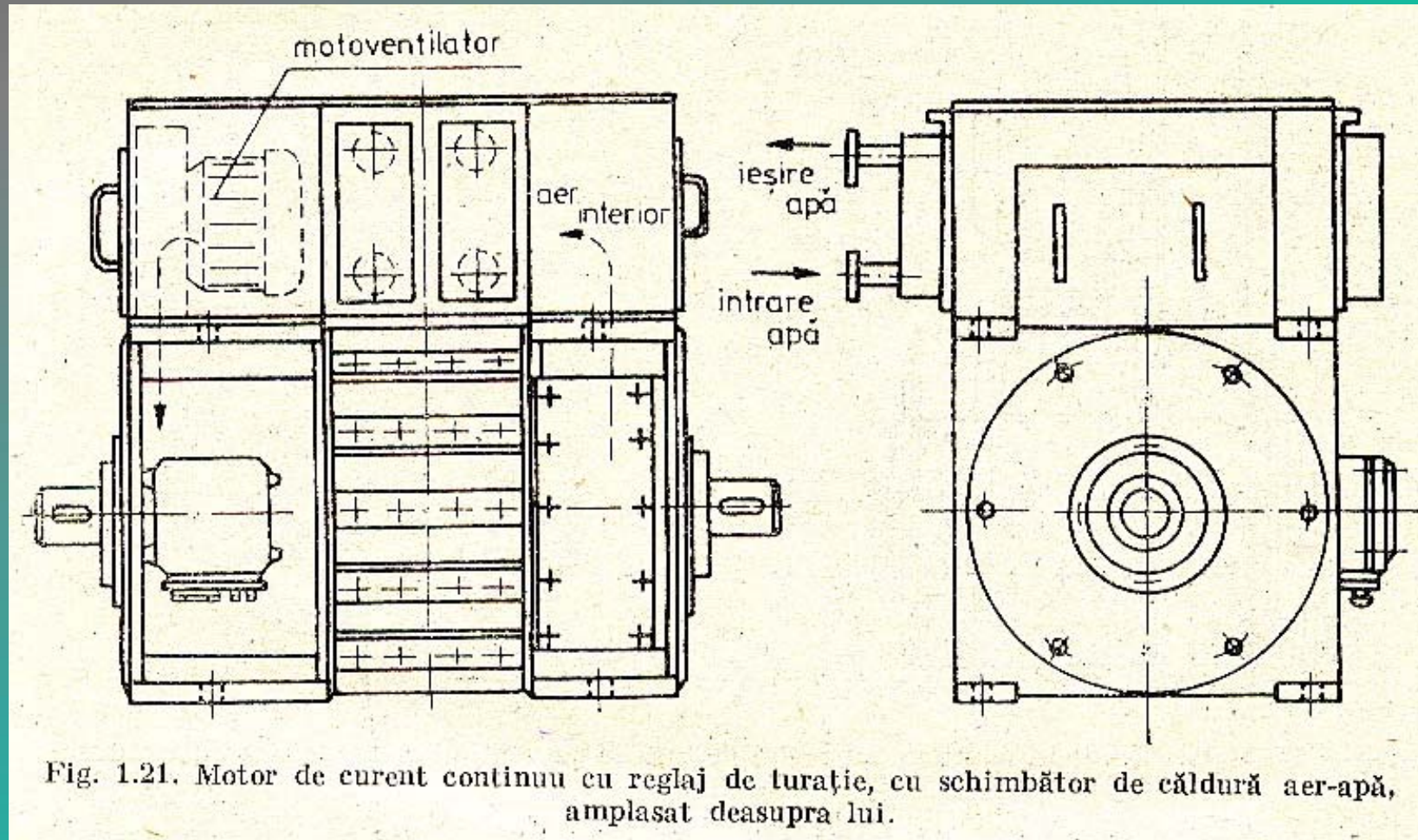
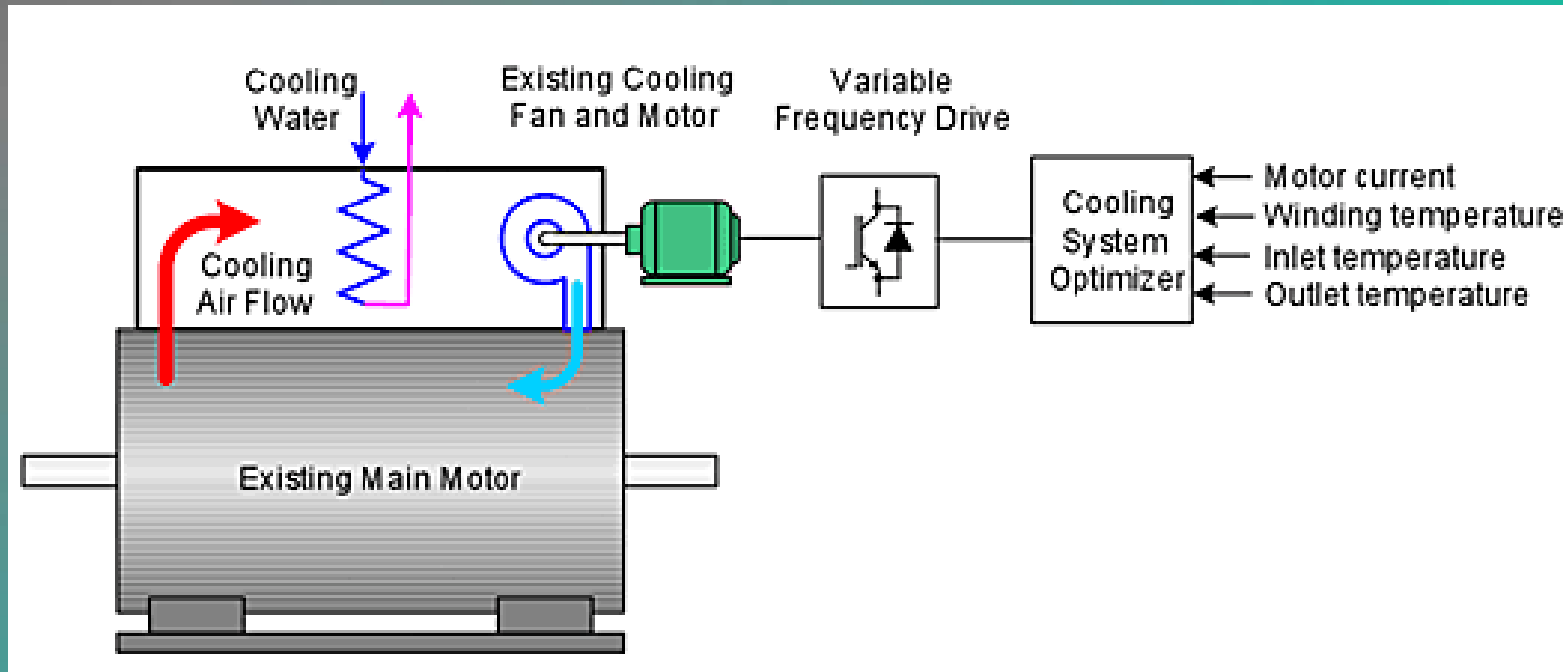


Fig. 1.20. Mașină închisă cu inele colectoare și cu schimbător de căldură aer-aer din țevi (vedere parțială).

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

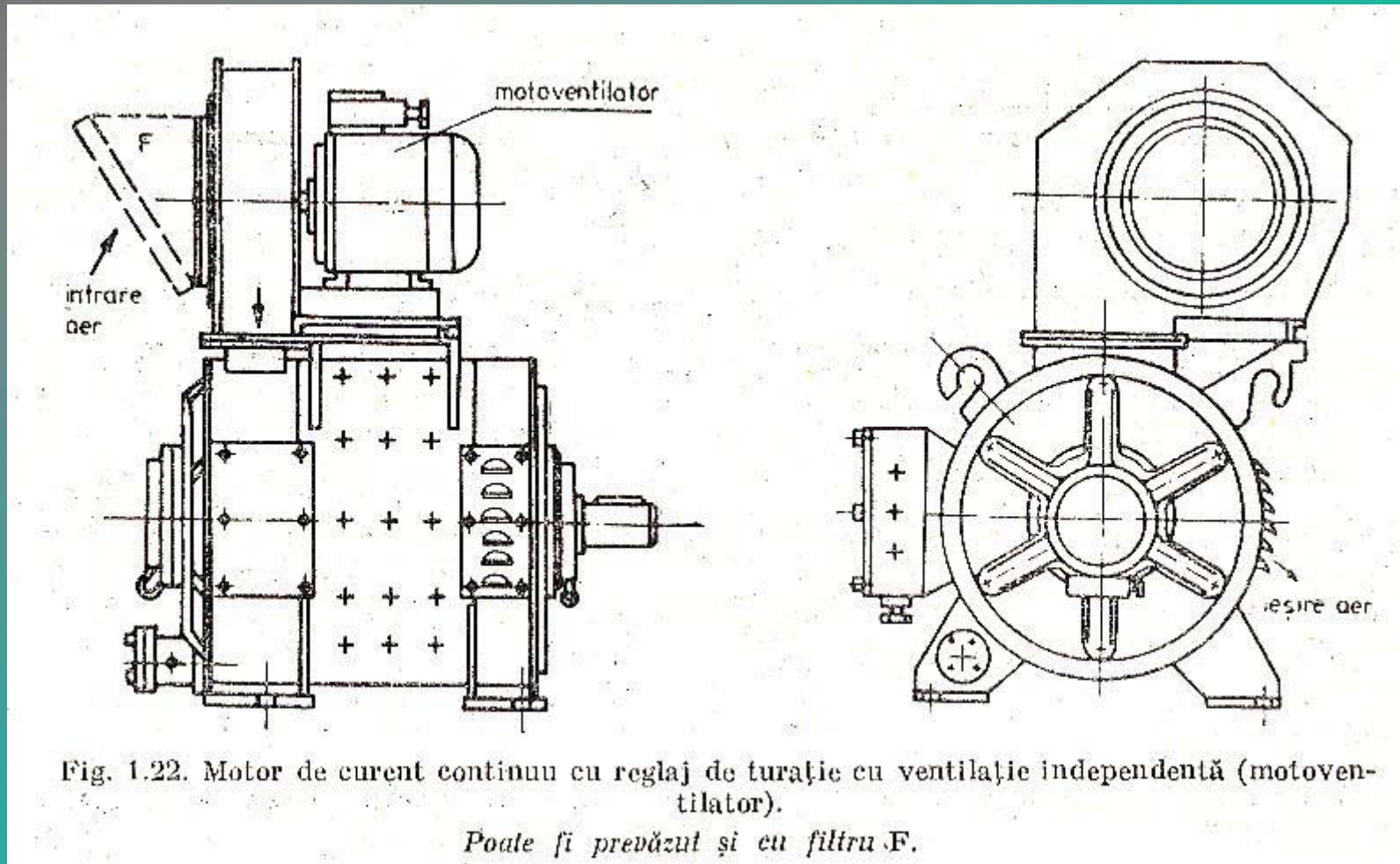


Soluție pentru eficientizarea răcirii unui motor de acționare a laminoarelor

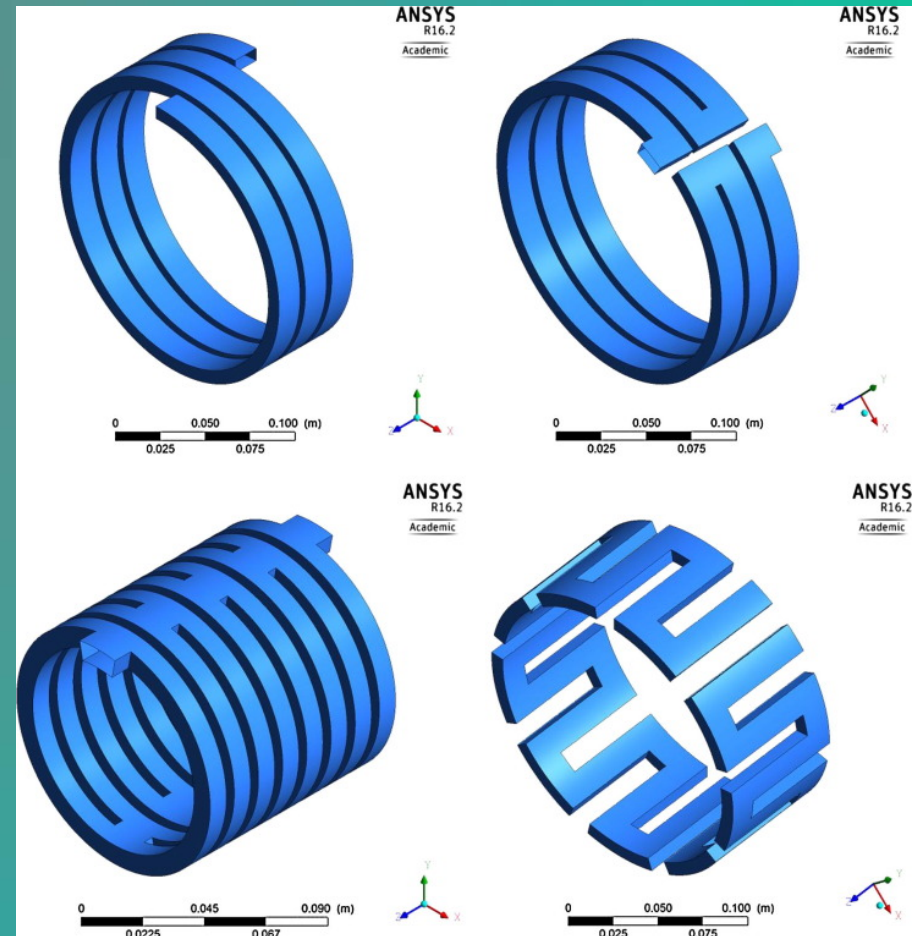
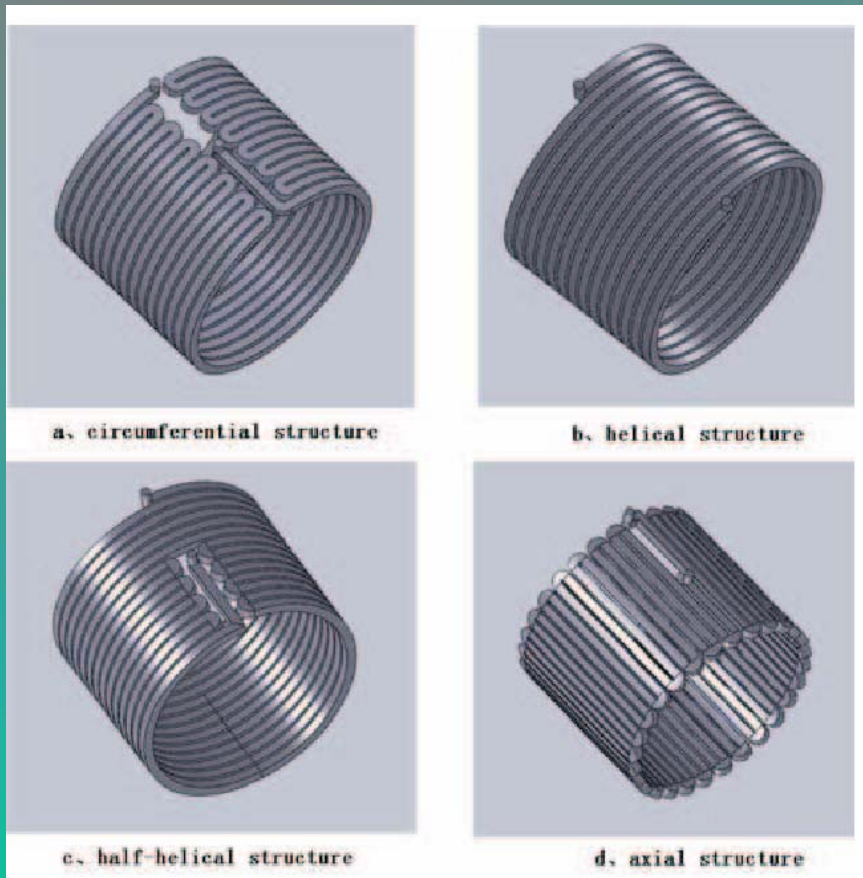


Comanda ventilatorului de răcire ține cont de: valoarea curentului; temperatura înfășurărilor; temperatura de intrare sau ieșire a aerului de răcire.

Comanda cu motoventilator separat

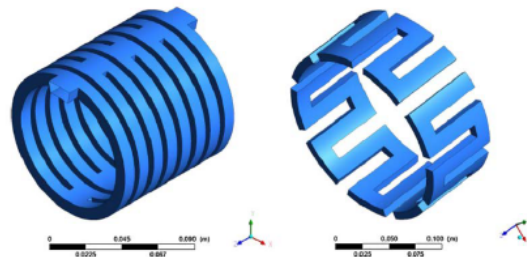


Răcire cu apă – spirale parcurse de lichid si plasate pe miezul statoric

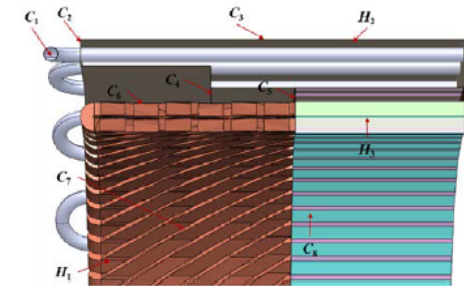


Cooling architectures: Liquid Cooling

- 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)

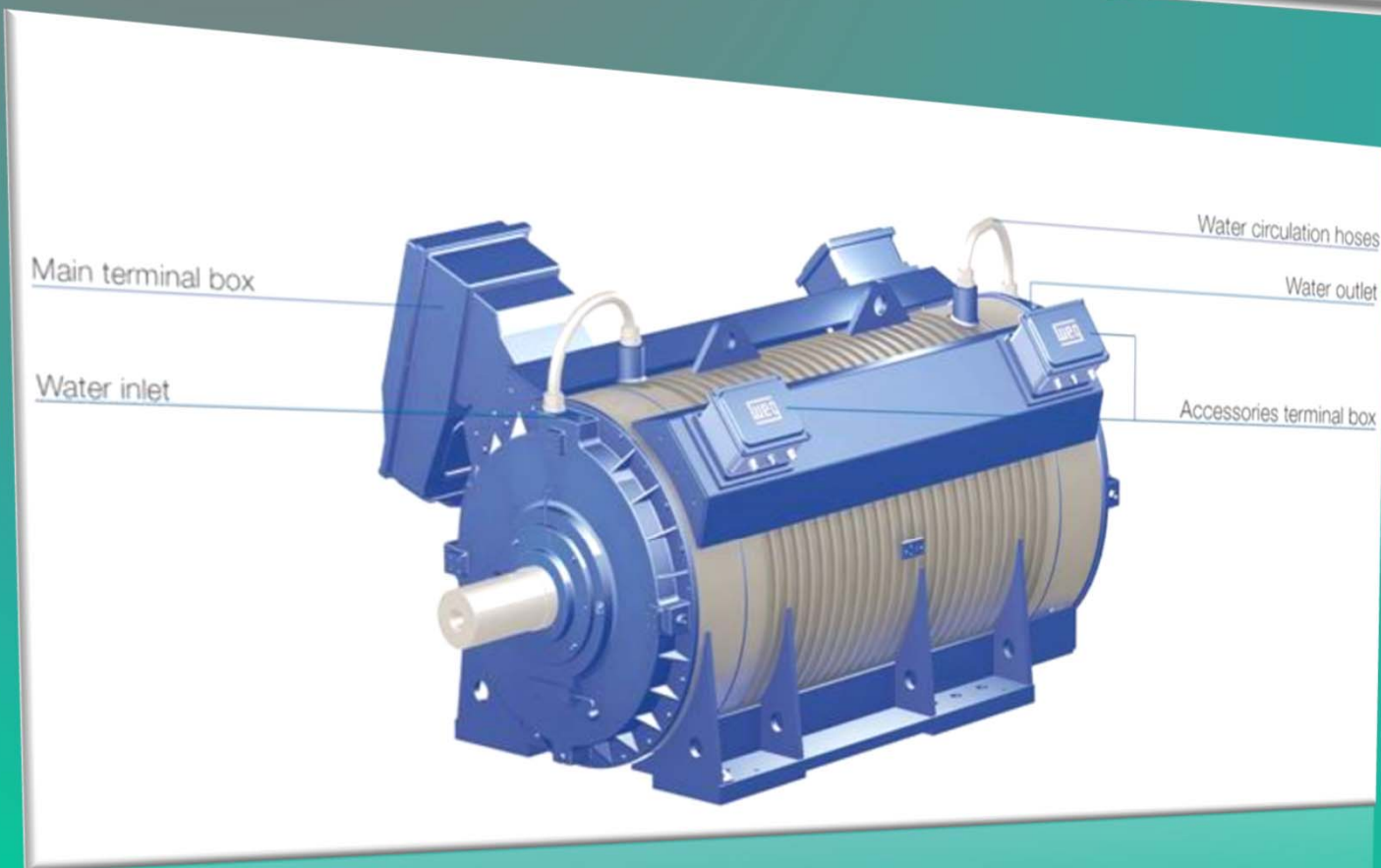


Water ducts inside a stator (Kim, 2017)



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

Motoare prevăzute cu „water jackets”



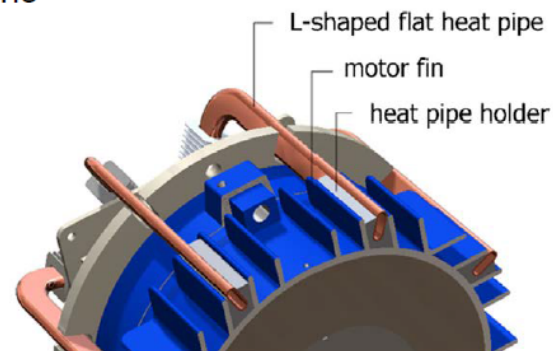
Cooling architectures: Other cooling devices

Oil jet and sprays cooling

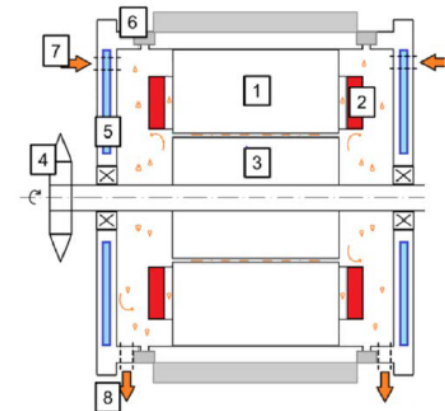
- Impinging **jets** or **sprays** directly on the **end-windings**.
- Very good cooling of end-windings.
- Mostly automotive applications

Heat pipes cooling

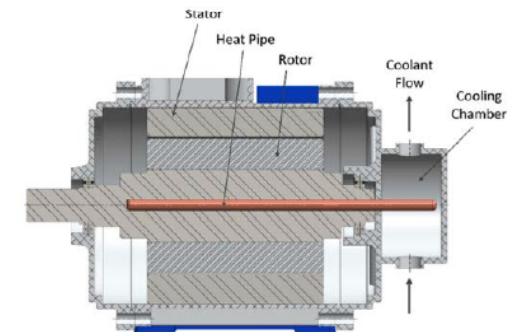
- Heat pipes are **passive cooling** devices using **phase change** phenomena
- For **high-end applications** (expensive) but **very effective** and **reliable**
- Aerospace and automotive applications



Heat pipes stator cooling (Putra, 2017)



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

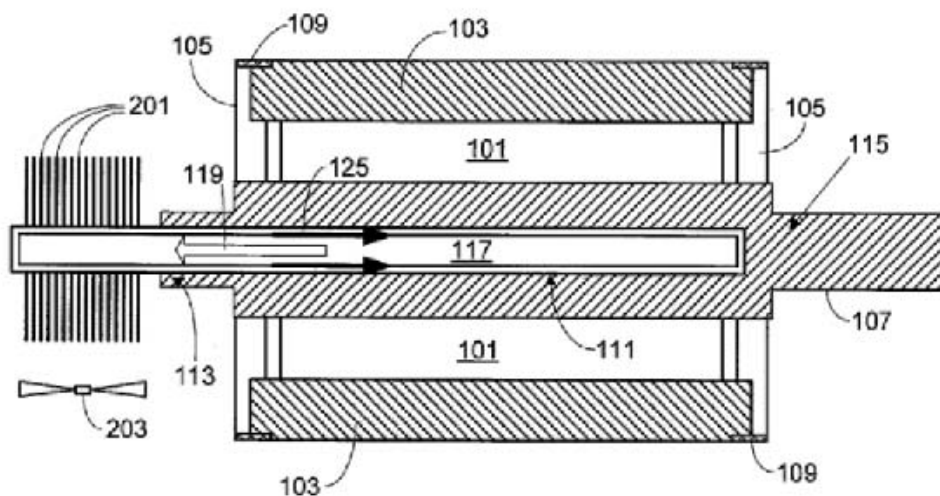


Tesla Rotor cooling with heat pipes (Putra, 2017)

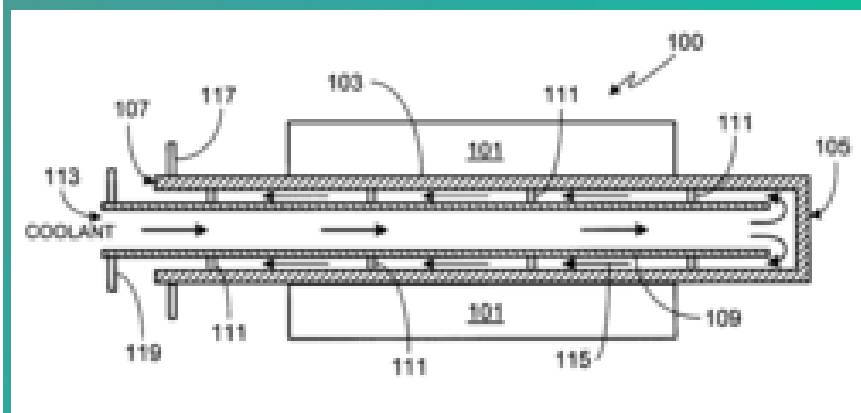
Motor asincron (Model Tesla S) – răcire cu apă



(a)



(b)

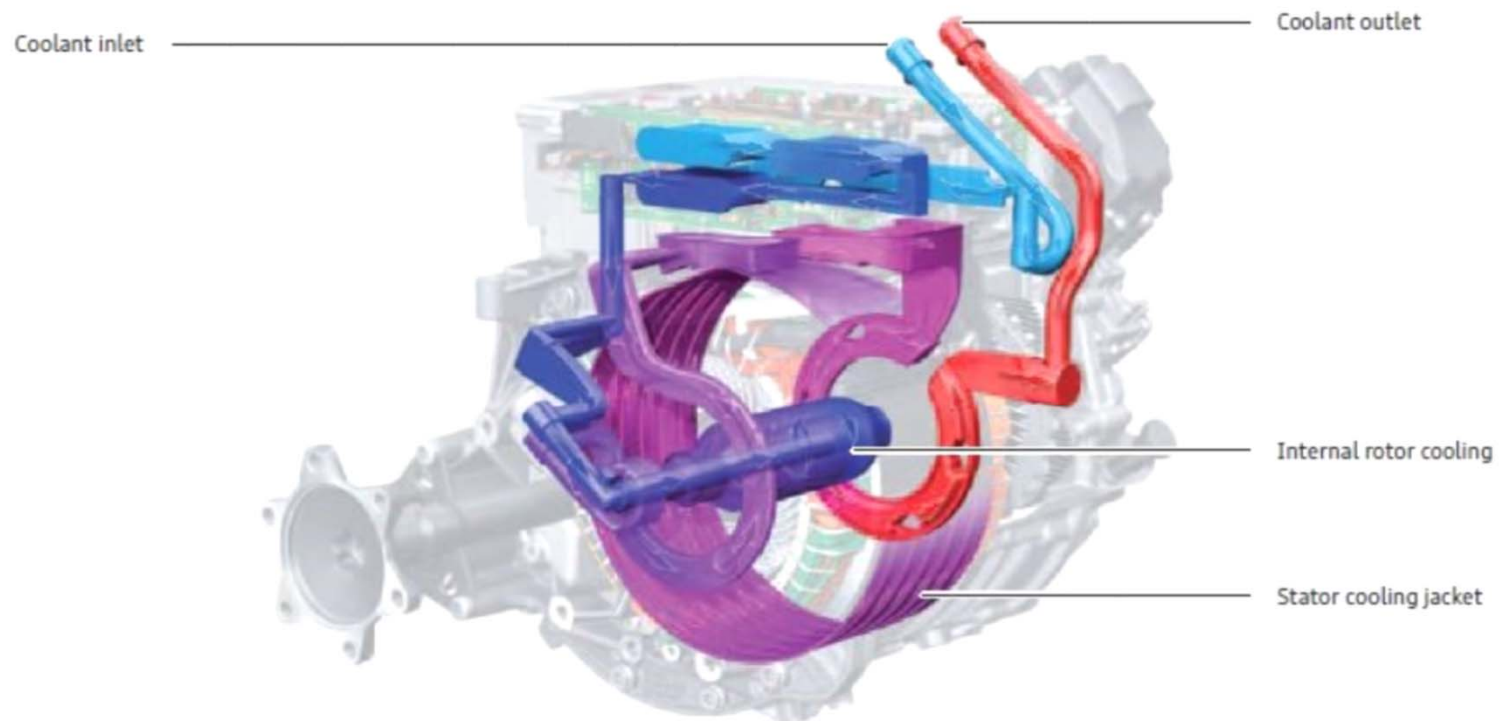


Sistemul de răcire cu apă al motorului electric de propulsie Tesla S

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

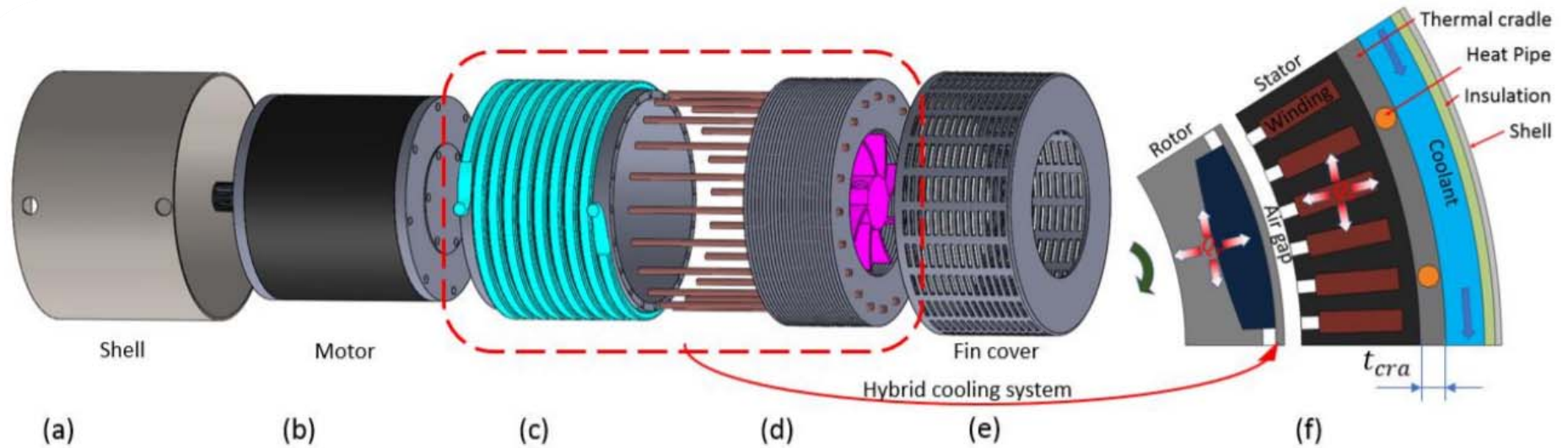
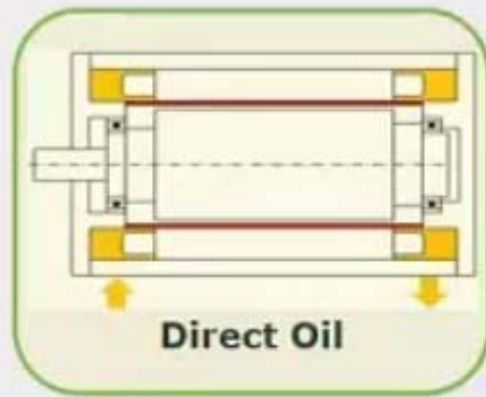
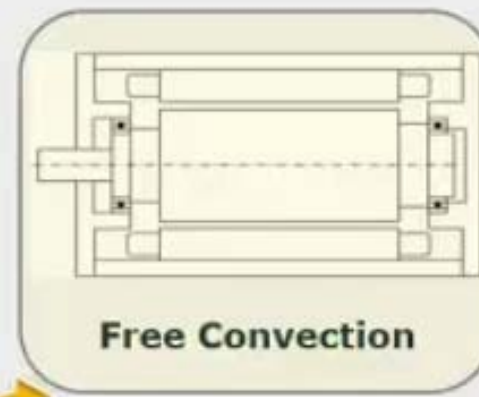


Fig. 2. Electric motor cooling system configuration – (a) motor shell; (b) electric motor; (c) thermal cradle and coolant jacket; (d) heat pipes, fin structure heat exchanger, and centrifugal fan; (e) heat exchanger cover; and (f) cutaway view of motor cooling concept

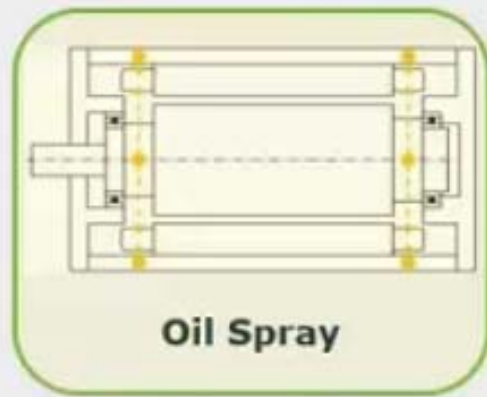
6



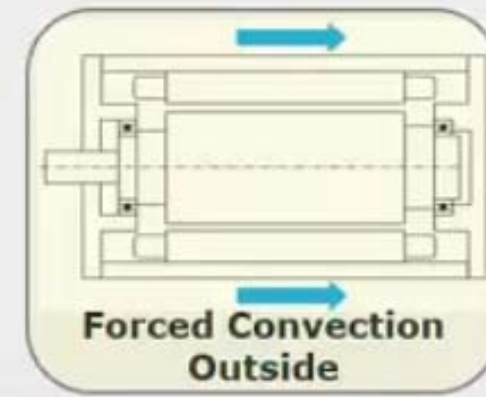
1



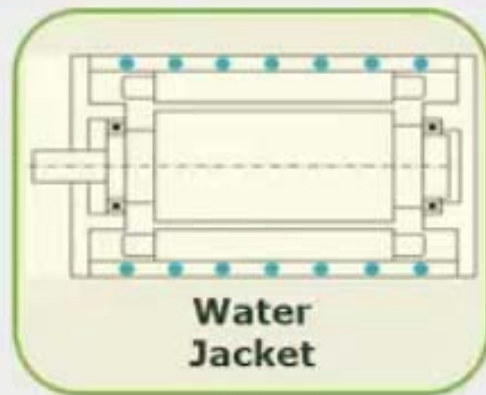
5



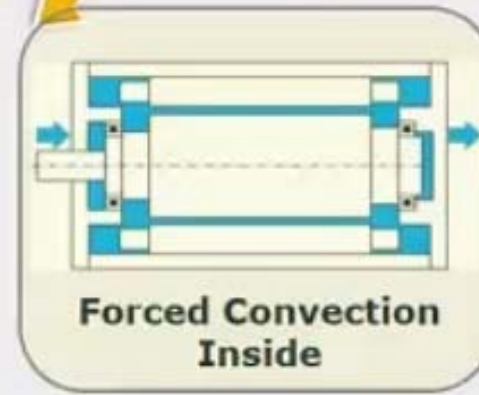
2




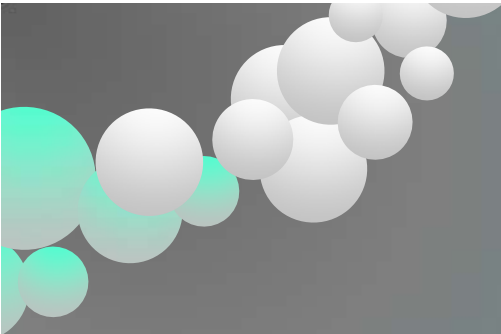
4



3



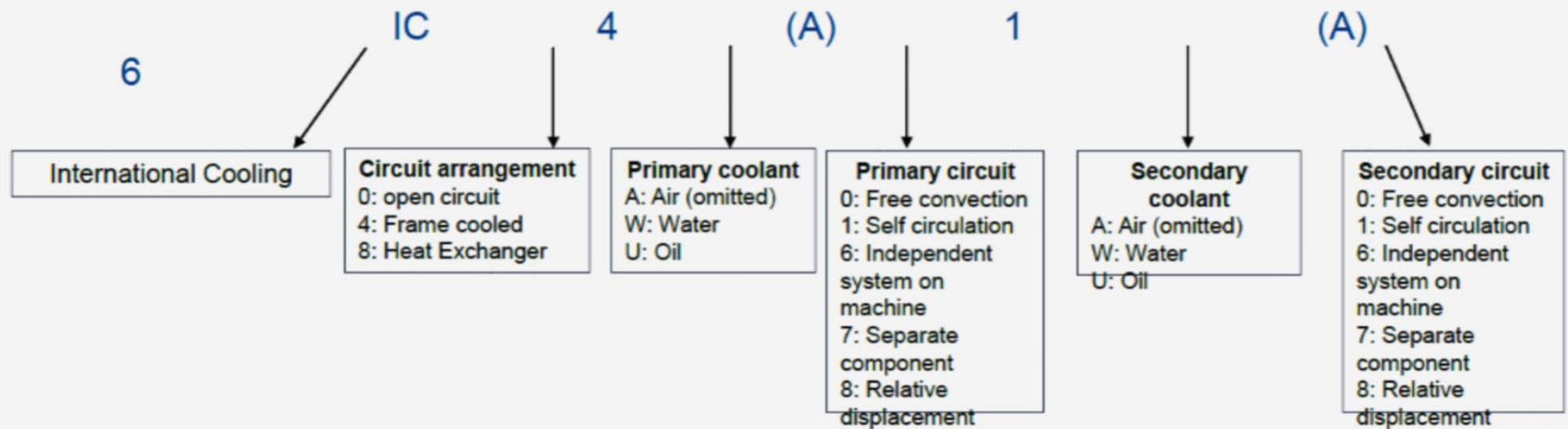
Suitable for automotive propulsion machines



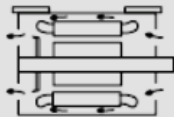
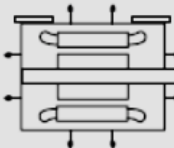
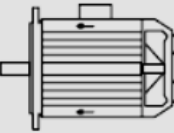
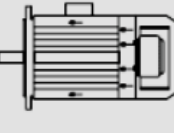
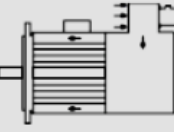
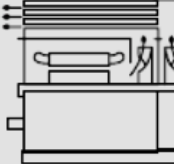
Cooling System	Current density A/mm²	Cooling efficiency	Complexity	Energy cost
Free convection	1.5 – 5	Low	Simple	None
Forced convection	5 – 10	Medium	Medium	Low
Liquid cooling	10 – 30	High	Complex	High

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)



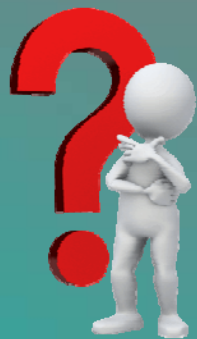
schimbătoare de căldura (aer-aer, aer-apa)



grup separat de ventilație



Mașină cu funcționare la viteză variabilă



Altitudinea (sub sau peste 1000 m)



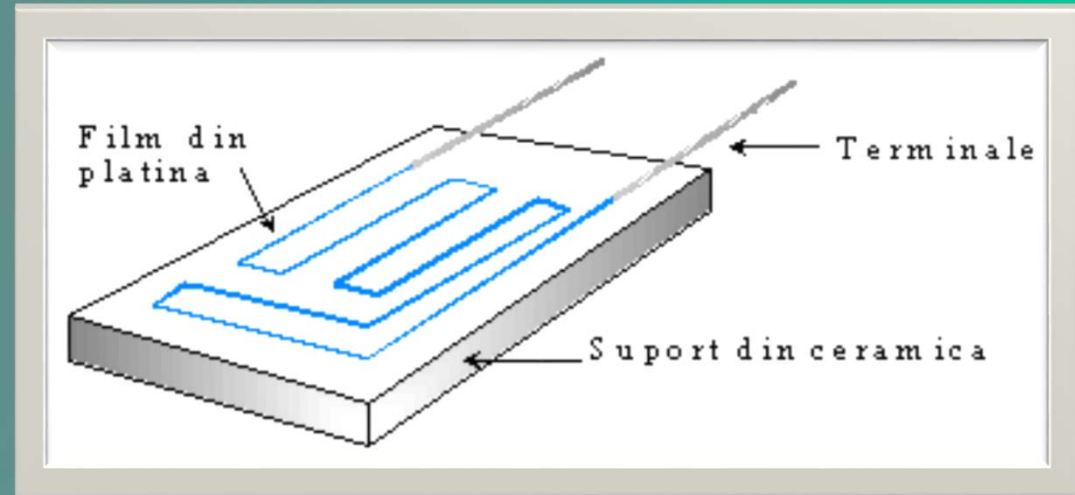
Temperatura mediului ambiant (sub sau peste 40°)

Camera termoviziune

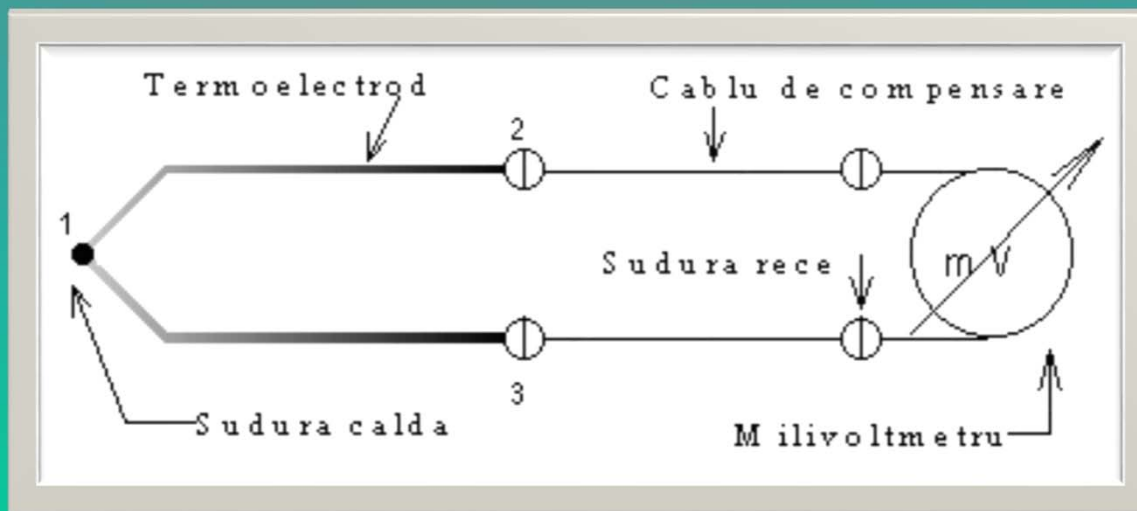


Aparat de măsurare a temperaturii in infraroșu

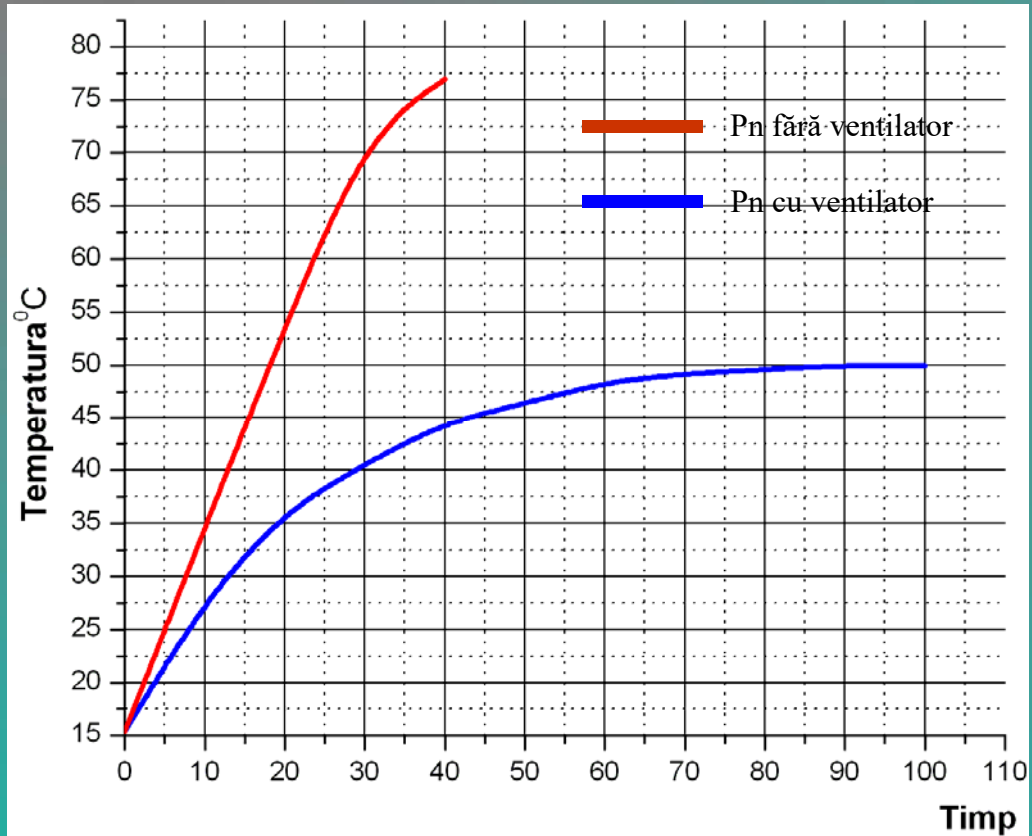
Termorezistenta



Măsurarea temperaturii in interiorul unei mașini electrice

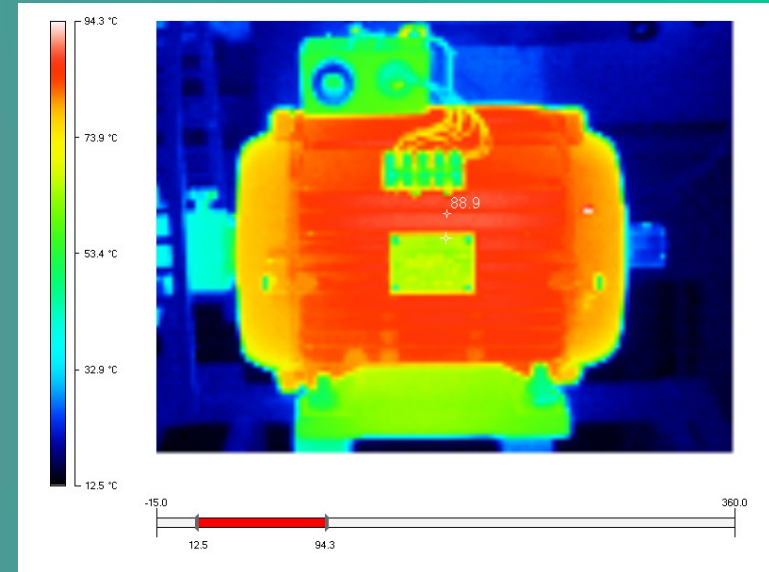


Termocuplu

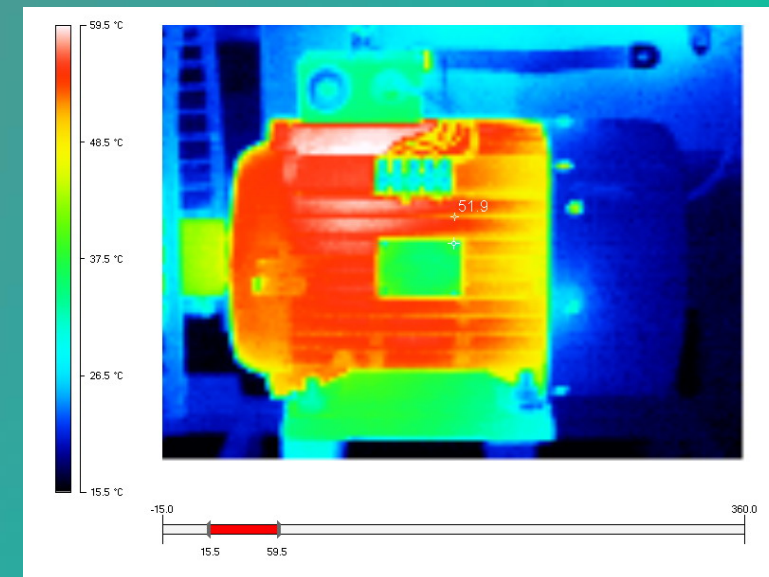


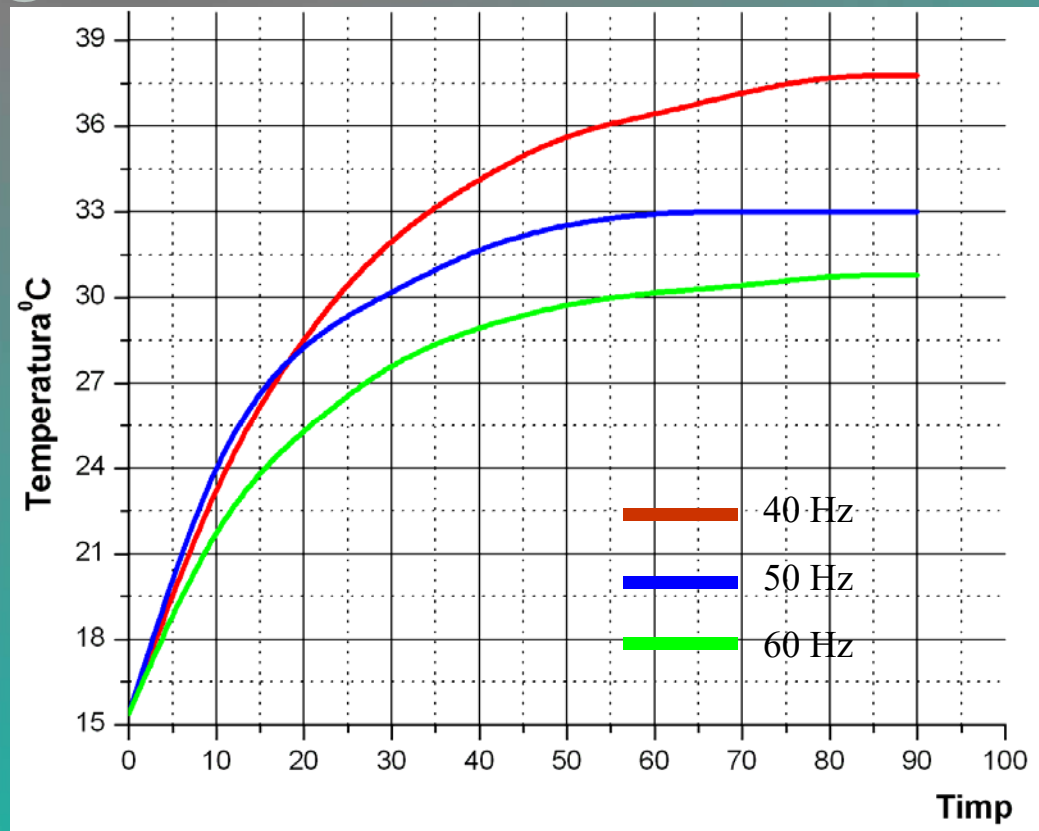
Încălzirea unei mașini asincrone: a) ventilator demontat; b) cu ventilator

a)

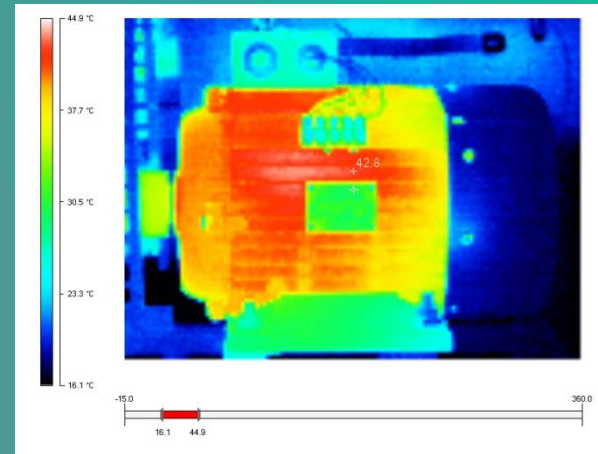


b)

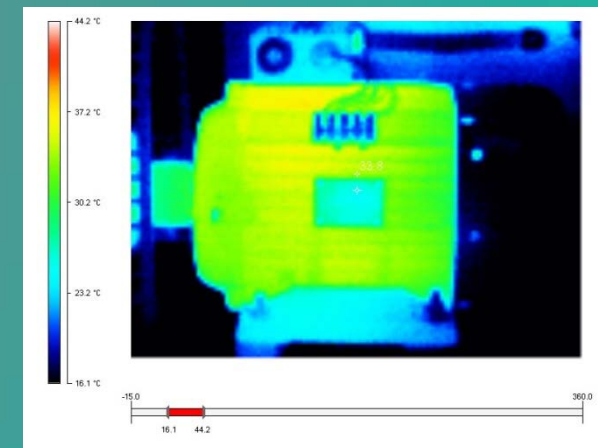




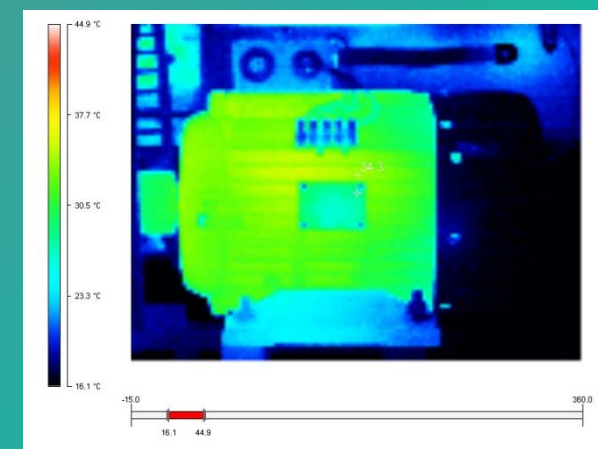
Încălzirea unei mașini asincrone pentru diverse frecvențe ale tensiunii de alimentare



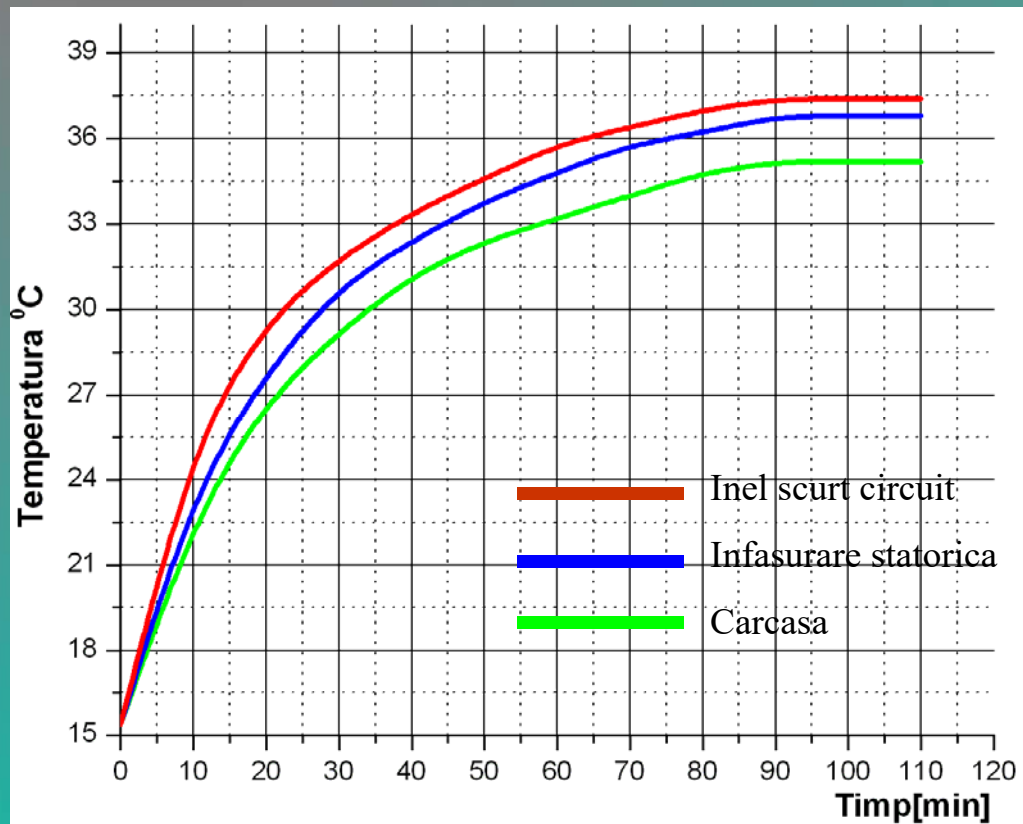
40Hz



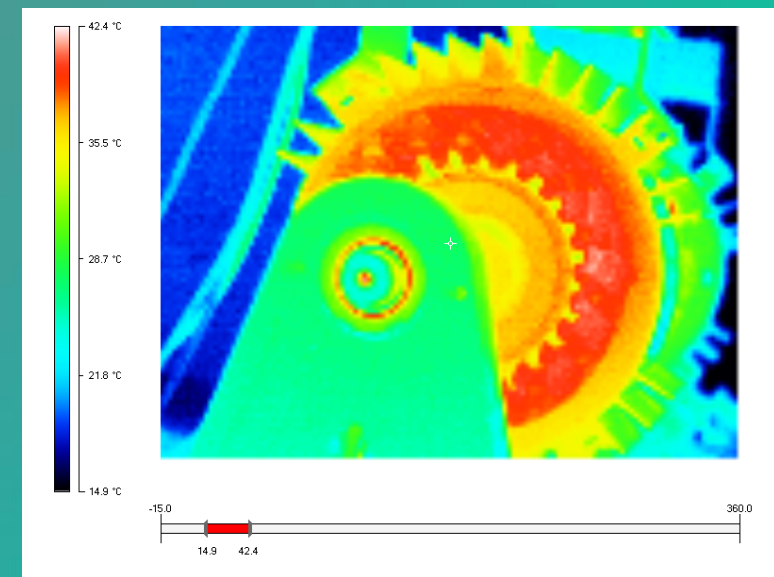
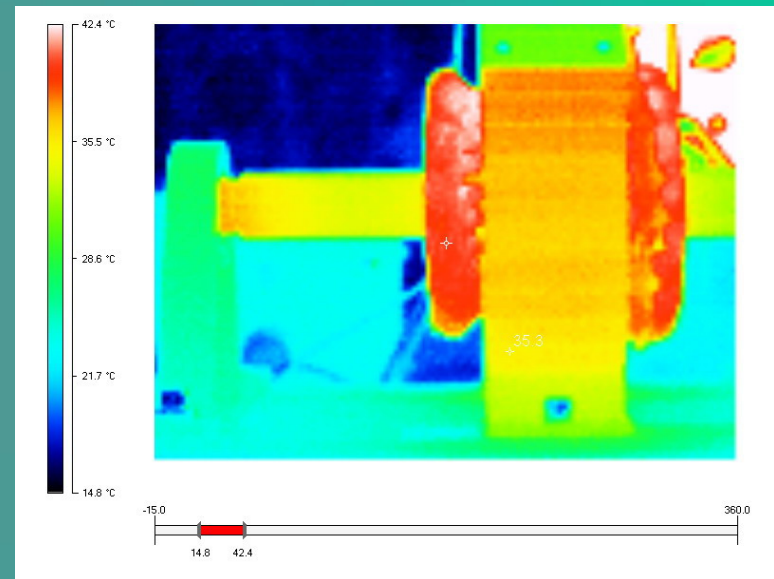
50Hz

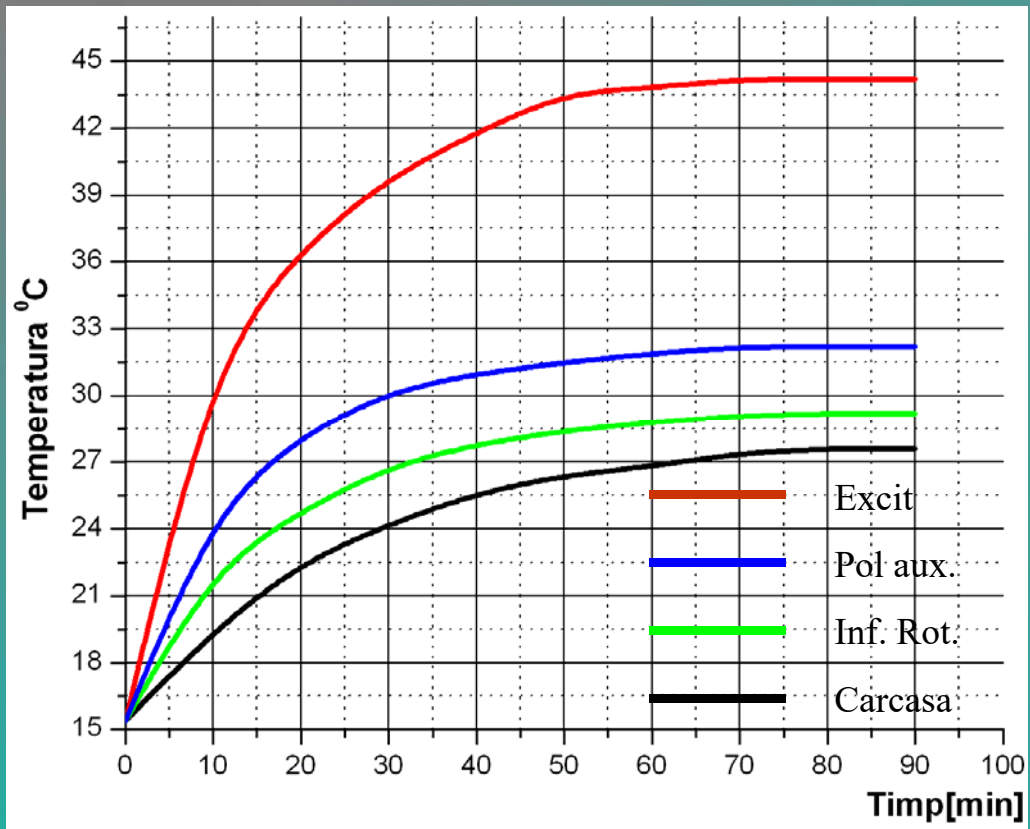


60Hz

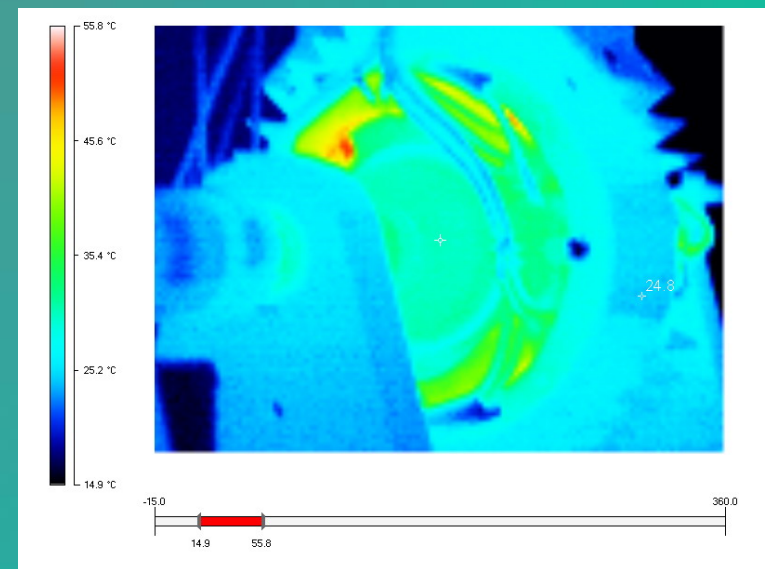
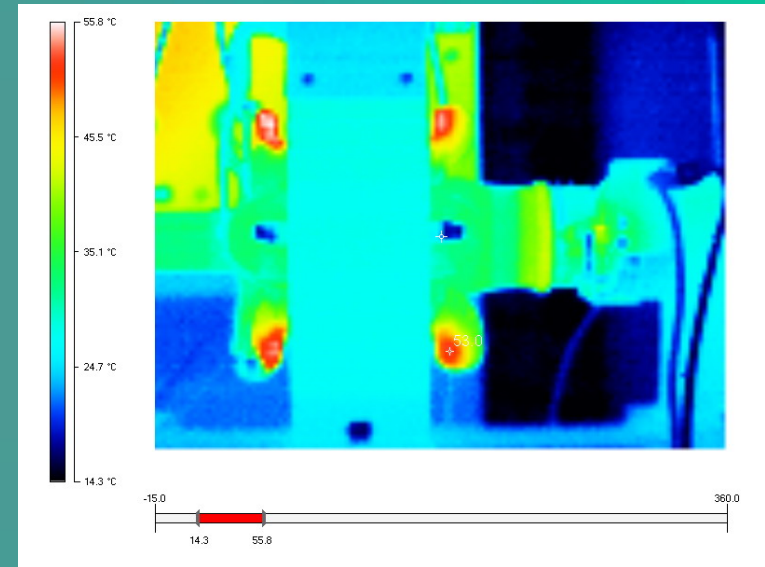


Încălzirea unei mașini asincrone deschise





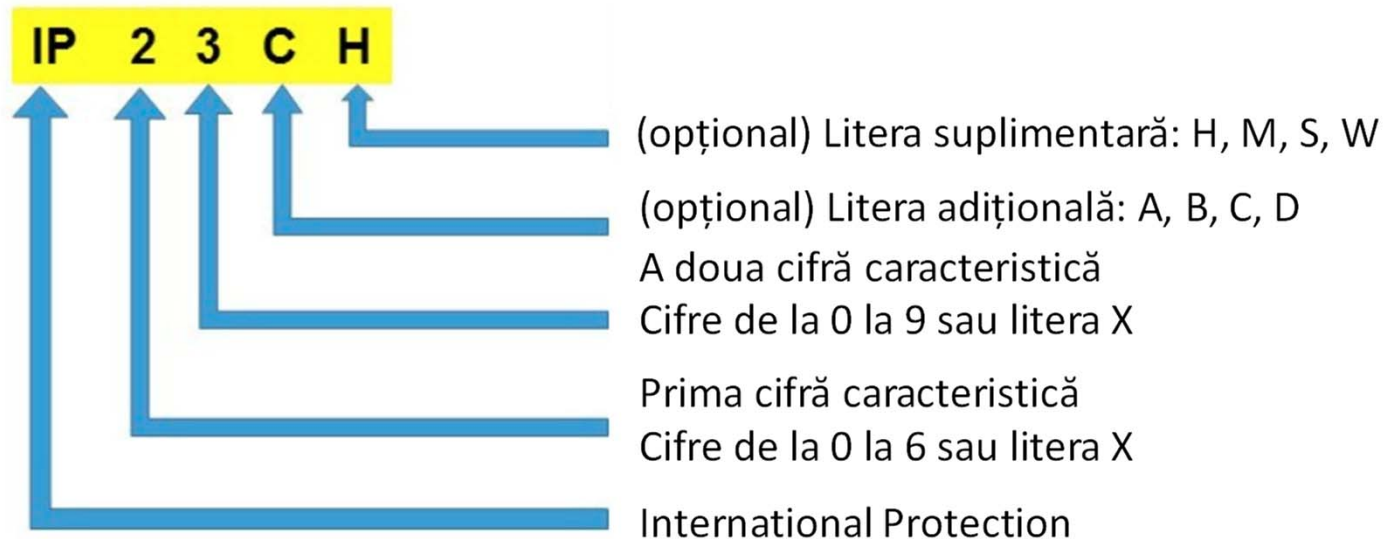
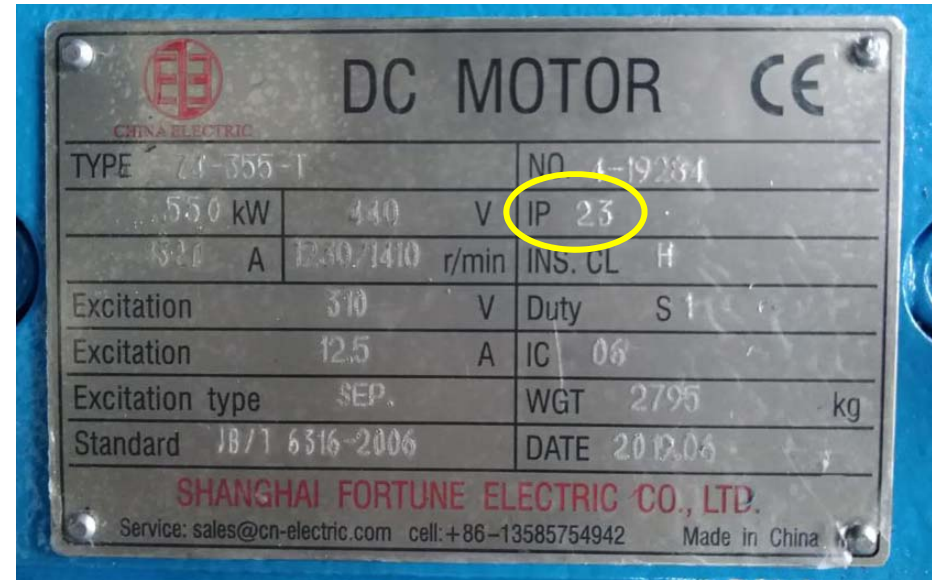
Încălzirea unei mașini de c.c. deschise



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.



Prima cifra

X

SIMBOL

Nu exista 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 îngădite. 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.

Prima cifra

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.

Prima cifra

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.

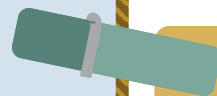
SIMBOL 0

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

Aceasta 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).

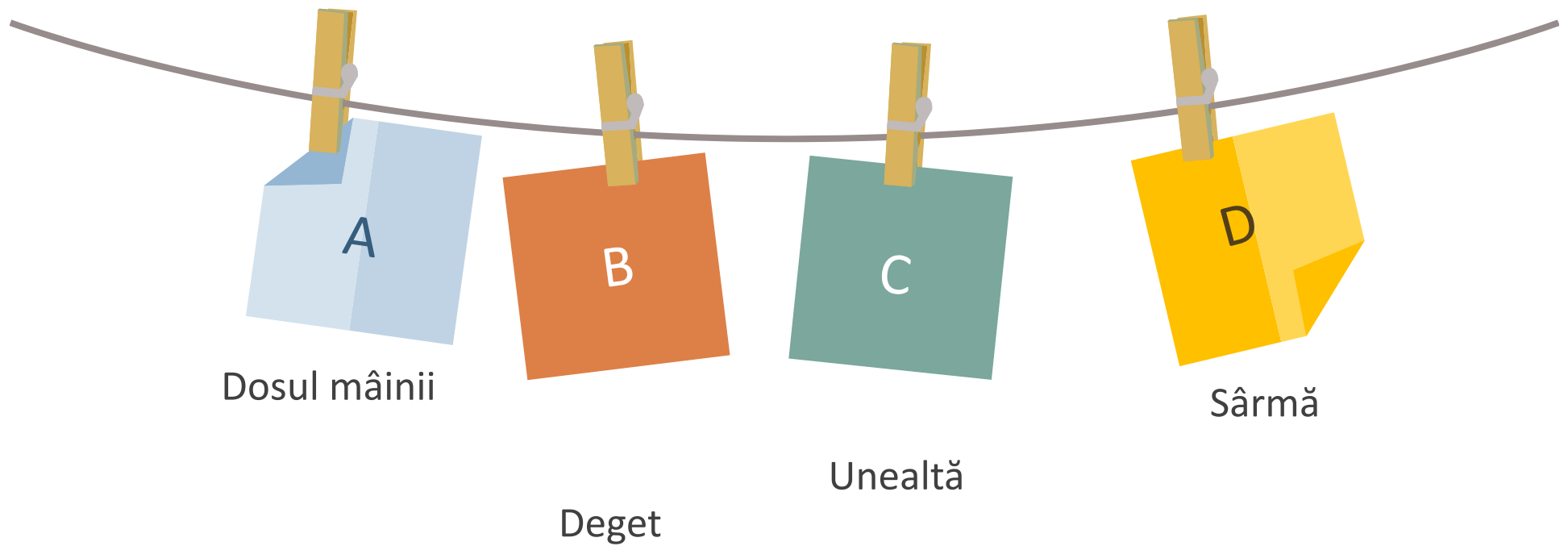


SIMBOL 9K

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.

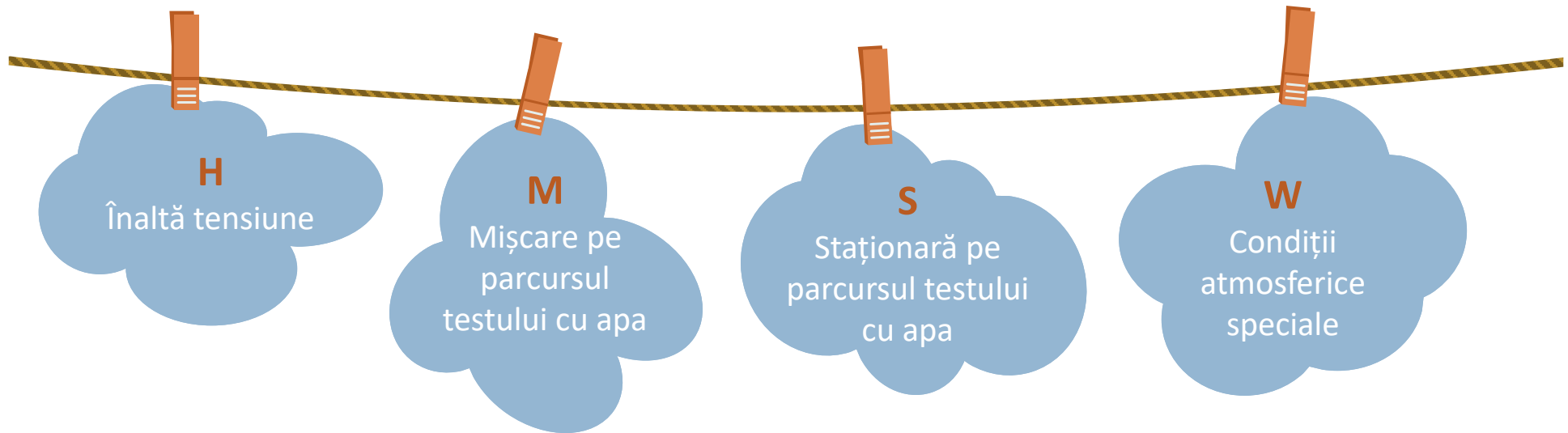
Prima litera adițională (opțională)

(protecția personalului împotriva atingerii întâmplătoare cu mâna)



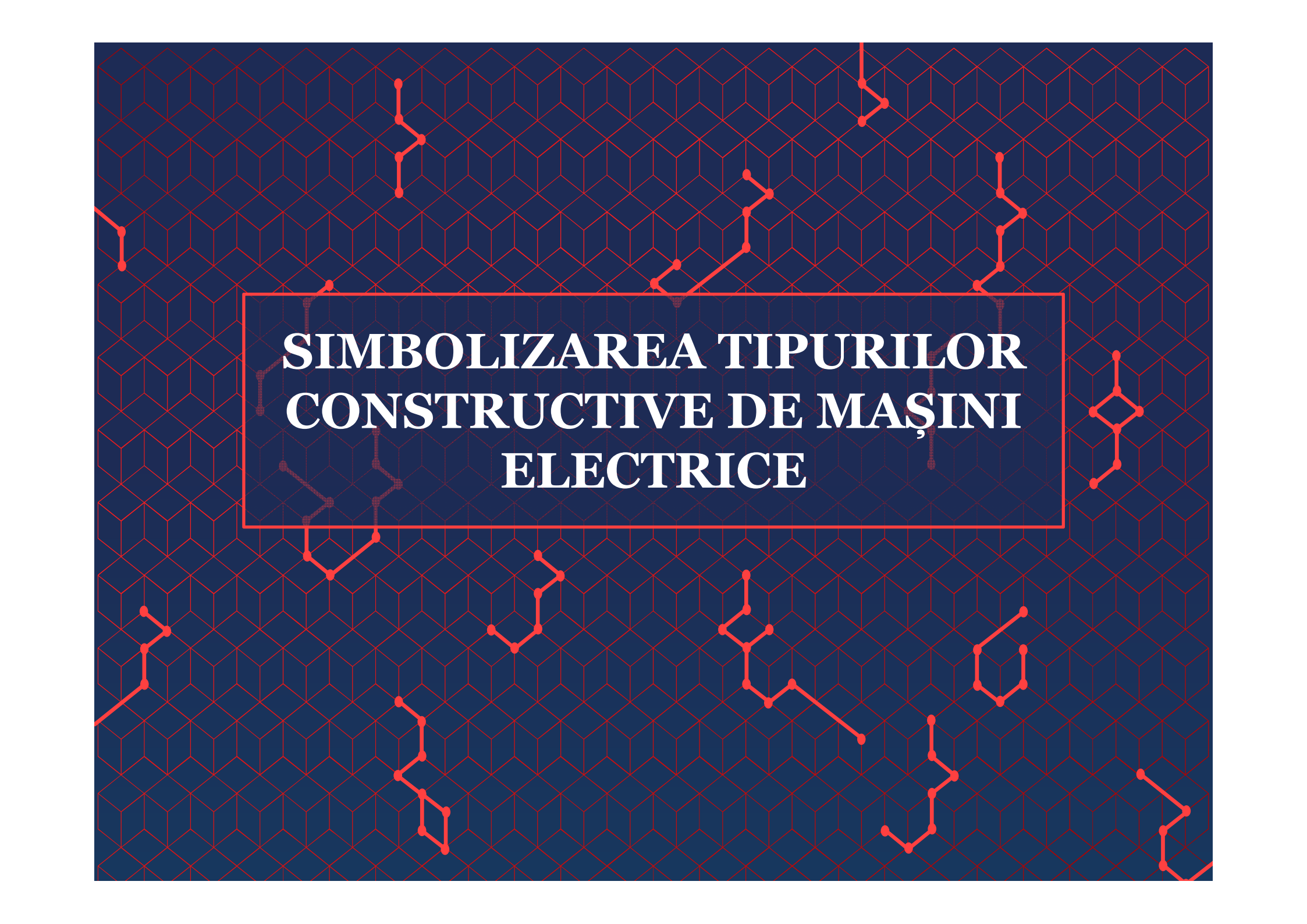
A doua litera suplimentară (opțională)

(protecția mașinii corespunzător anumitor condiții)



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.

Exemplificare
si
corespondenta
intre coduri

1st digit	IM1... Foot mounted	IM2... Foot & Flange mounted			IM3... Flange mounted		
2nd digit	IM10	IM20	IM21	IM21	IM30	IM36	IM36
3rd digit	IM1001	IM2001	IM2101	IM2101	IM3001	IM3601	IM3601
4th digit	B3	B3/B5	B3/B14A	B3/B14B	B5	B14A	B14B
0							
1	IM1011 V5	IM2011 V15	IM2111 V15	IM2111 V15	IM3011 V1	IM3611 V18	IM3611 V18
3	IM1031 V6	IM2031 V36	IM2131 V36	IM2131 V36	IM3031 V3	IM3631 V19	IM3631 V19
5	IM1051 B6	IM2051	IM2151	IM2151	<p>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</p> <p>Abbreviated mounting positions: IM B35 B3/B5 IM B34A B3/B14A IM B34B B3/B14B</p>		
6	IM1061 B7	IM2061	IM2161	IM2161			
7	IM1071 B8	IM2071	IM2171	IM2171			
Without endshield	IM12 IM1201 B15	IM91 IM9101 B9					

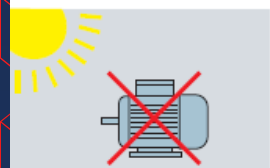
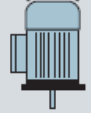
4th digit
1: Standard IEC shaft
2: 2nd shaft end
3: Conical shaft at DE
4: Special shaft end(s)

Vertical motors with shaft down are to be specified as

Motor without Canopy



Motor with Canopy



No motor should be exposed to direct sunlight!

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.	F
NOM. EFF.	96.0%	MIN. EFF.	95.2%		
RPM	890	DESIGN	B	AMB.	40 °C
DATE	2007	BEARINGS	RENK 85-100/85-100		
IP	54	SER. NO.	D077015-1		
WEIGHT	12100	KGS			

TECO Westinghouse
MOTOR COMPANY
ROUND ROCK, TEXAS

MADE IN TAIWAN 3A045H3720007

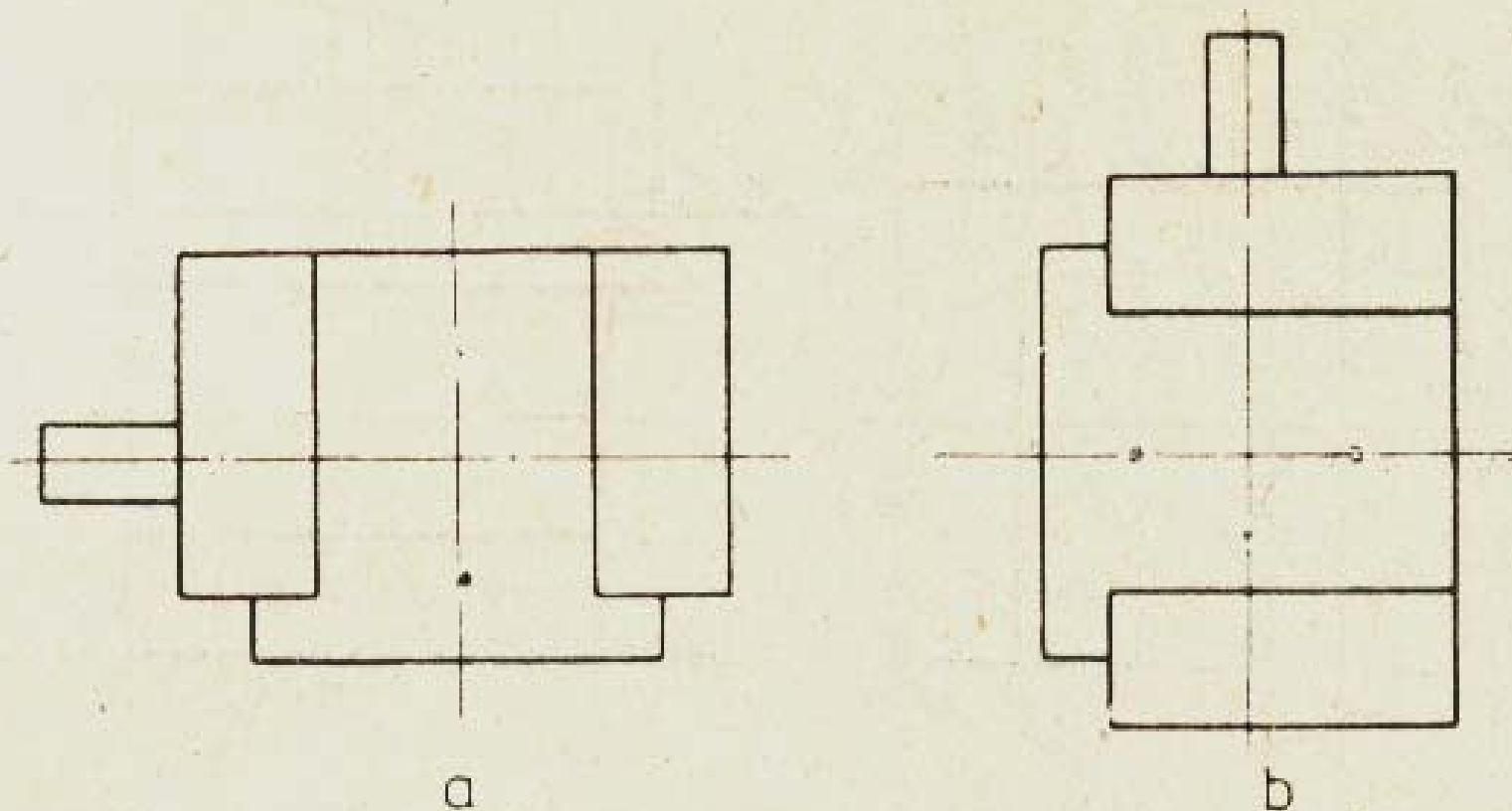


Fig. 1.1. Mașini cu tălpi și două scuturi portlagăr :
a — *IM 1001* ; b — *IM 1031*.

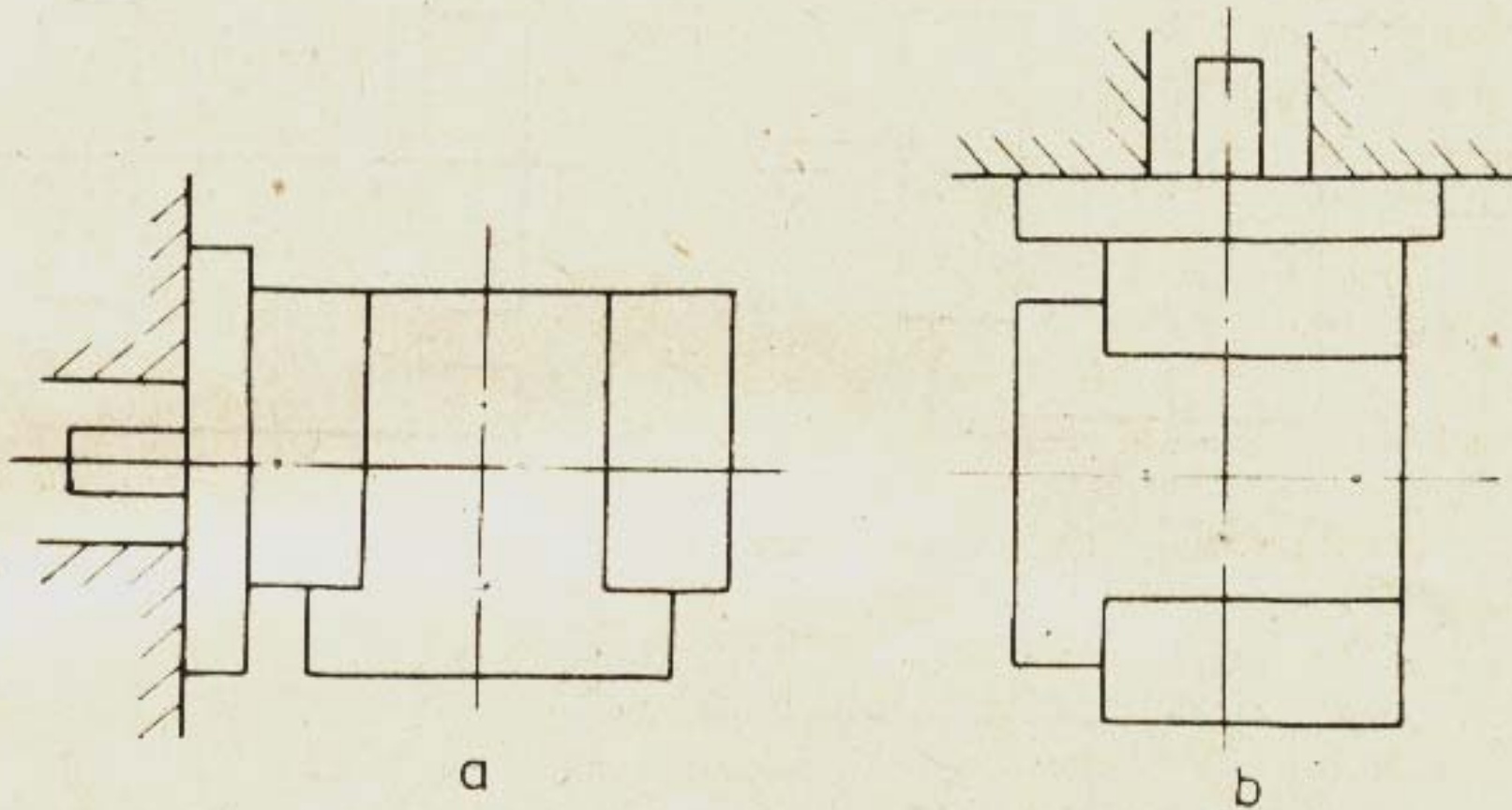


Fig. 1.2. Mașini cu tălpi și flanșă, cu un scut portlagăr :
a — IM 2001 ; b — IM 2031.

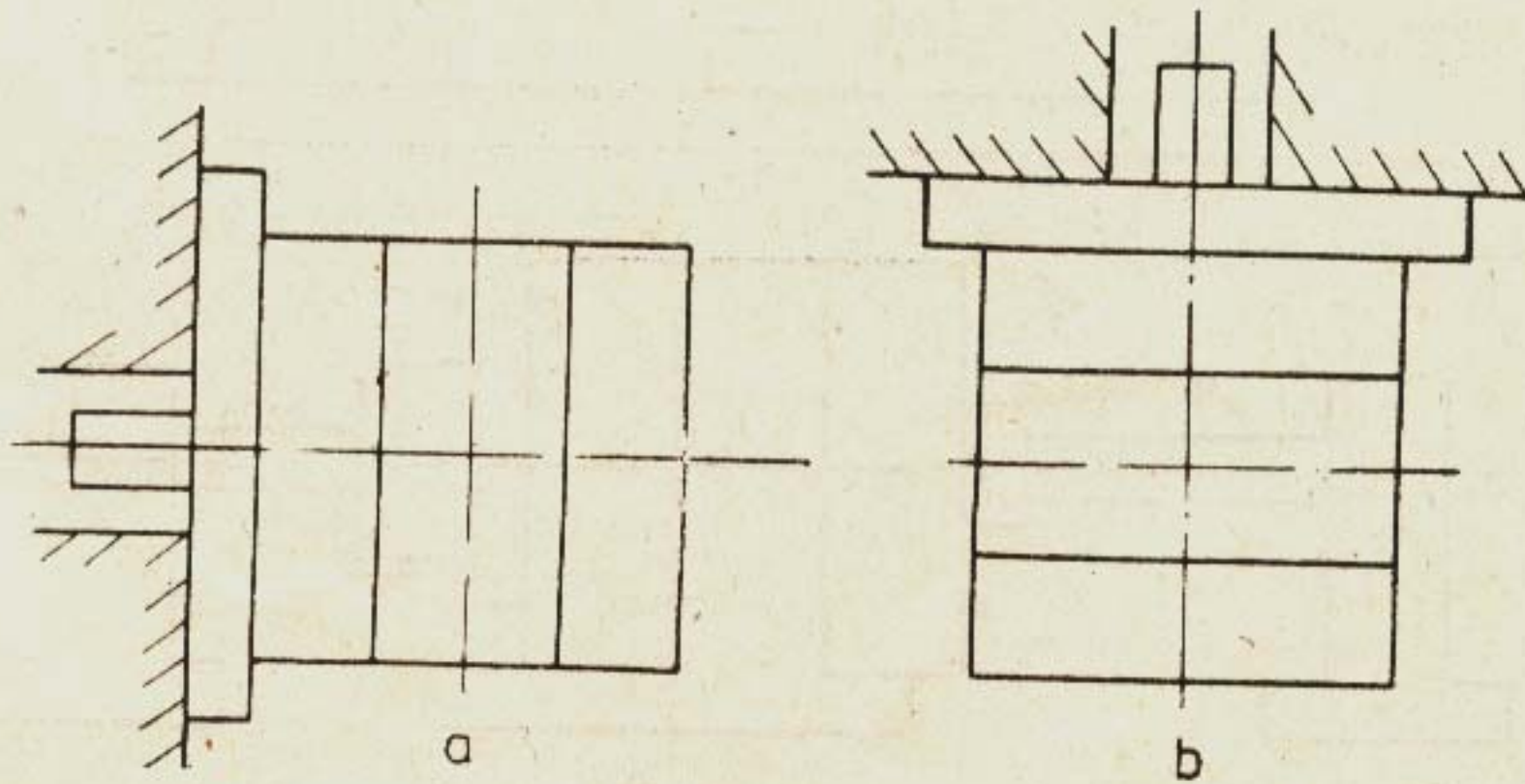


Fig. 1.3. Mașini fără tălpi, cu flanșă pe un scut portlagăr :

a — ^oIM 3001; b — IM 3031.

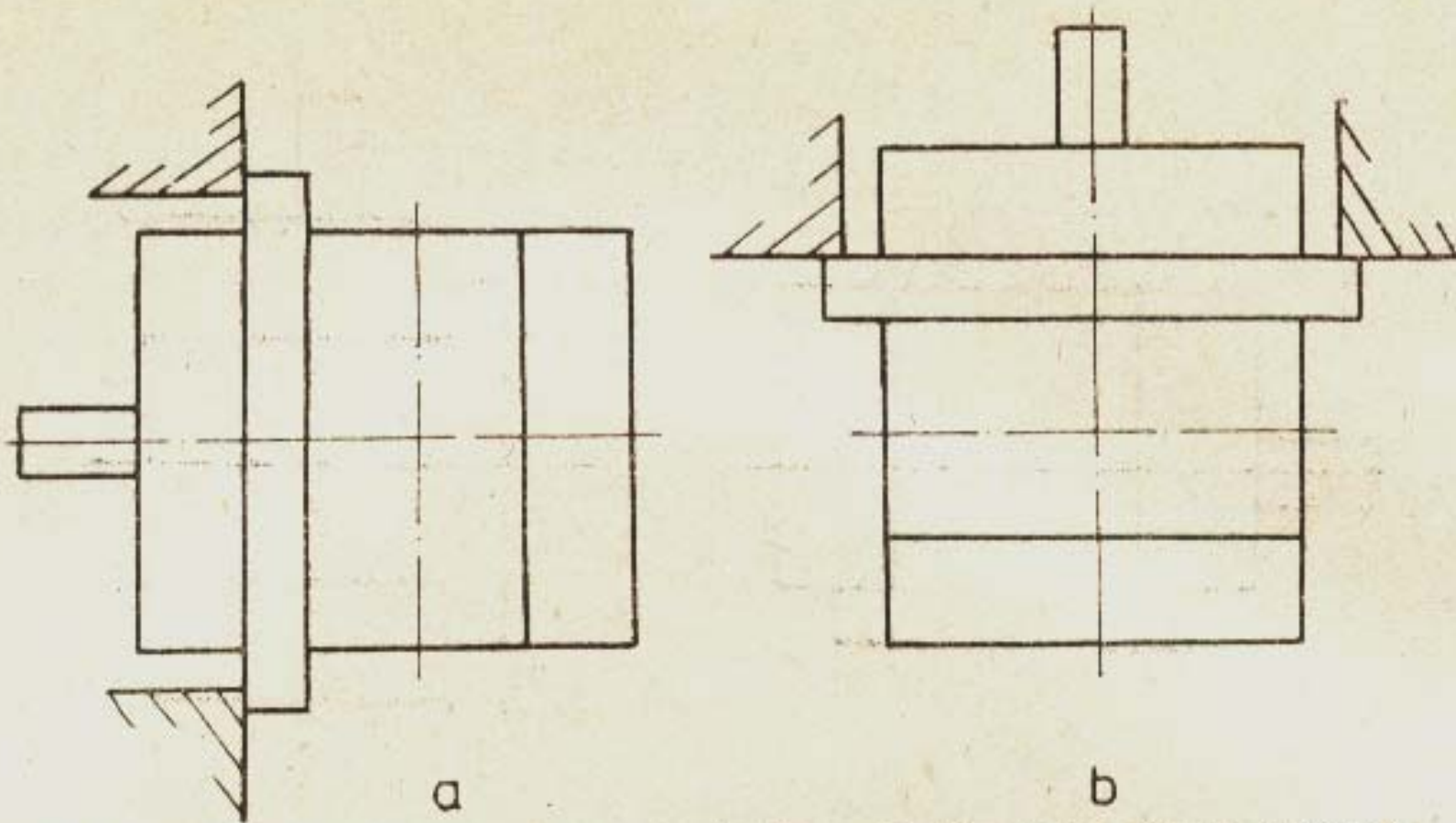


Fig. 1.4. Maşini fără tălpi, cu scuturi portlagăr şi flanşă pe carcasă :
a — IM 4001; b — IM 4031.

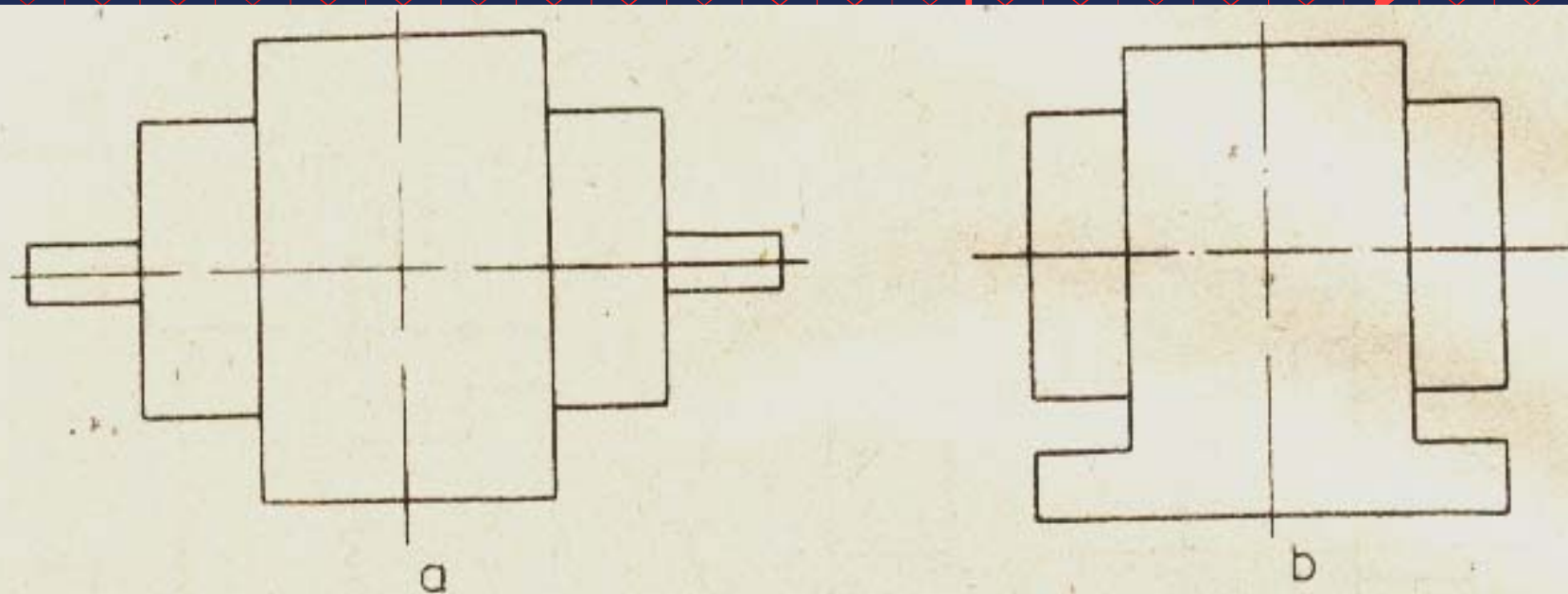


Fig. 1.5. Mașini fără lagăre (inglobate):

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

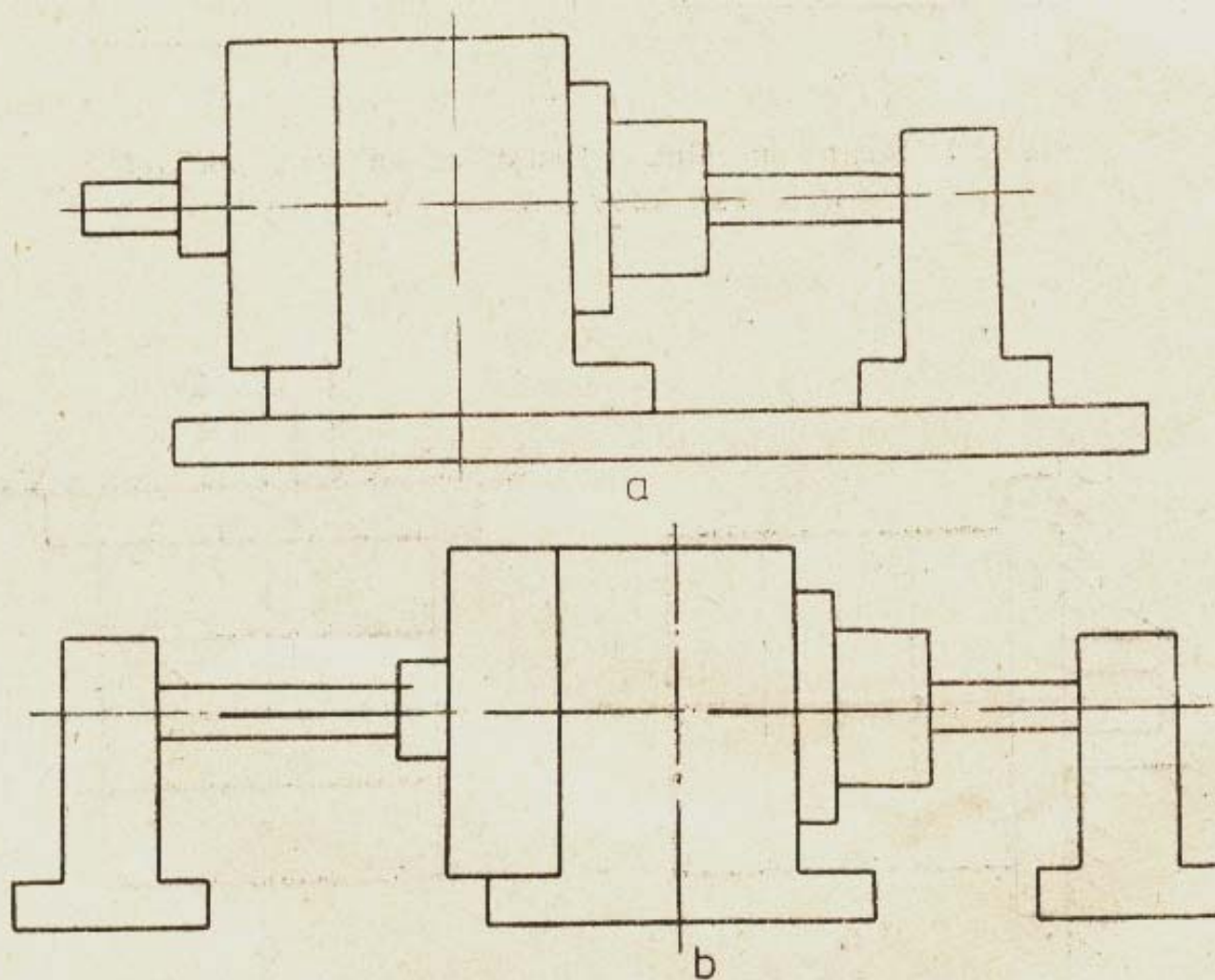


Fig. 1.6. Mașini cu scuturi portlagăr și suportur de lagăre :
 a — IM 6211 (cu carcasă cu lămpi, cu un scut portlagăr în partea D și cu un suport de lagăr în partea N — opusă lui D, cu placă de bază) ; b — IM 6600 (cu carcasă cu lămpi, cu un scut portlagăr în partea D și cu două suporturi de lagăre,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

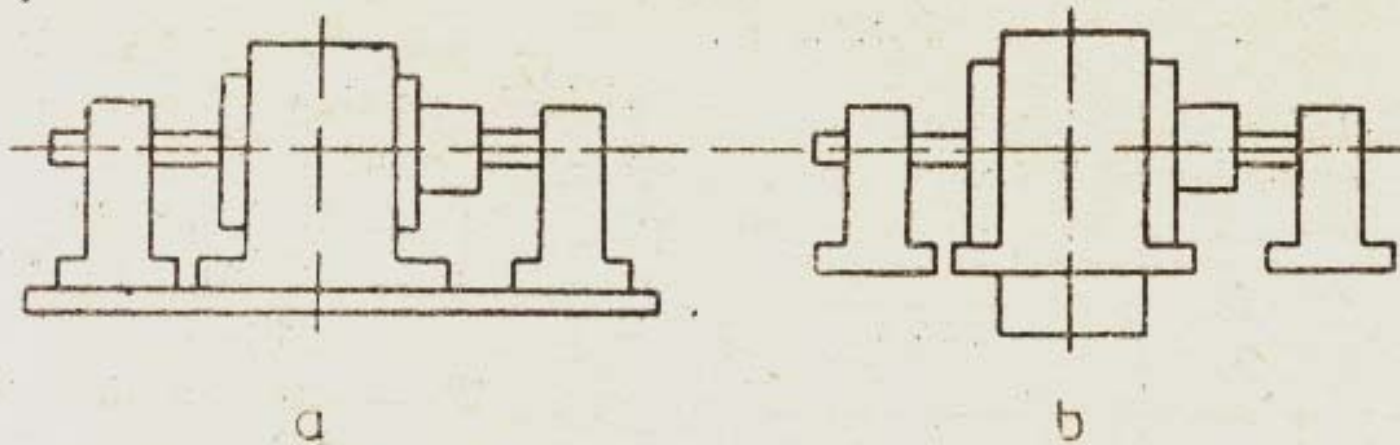


Fig. 1.7. Mașini cu suporturi de lagăre, fără scuturi portlagăr :
a — IM 7211 (cu două suporturi lagăre, cu tălpi și fixare cu soclu comun) ;
b — IM 7321 (cu două suporturi lagăre, cu tălpi înălțate și fixare cu placă de bază).

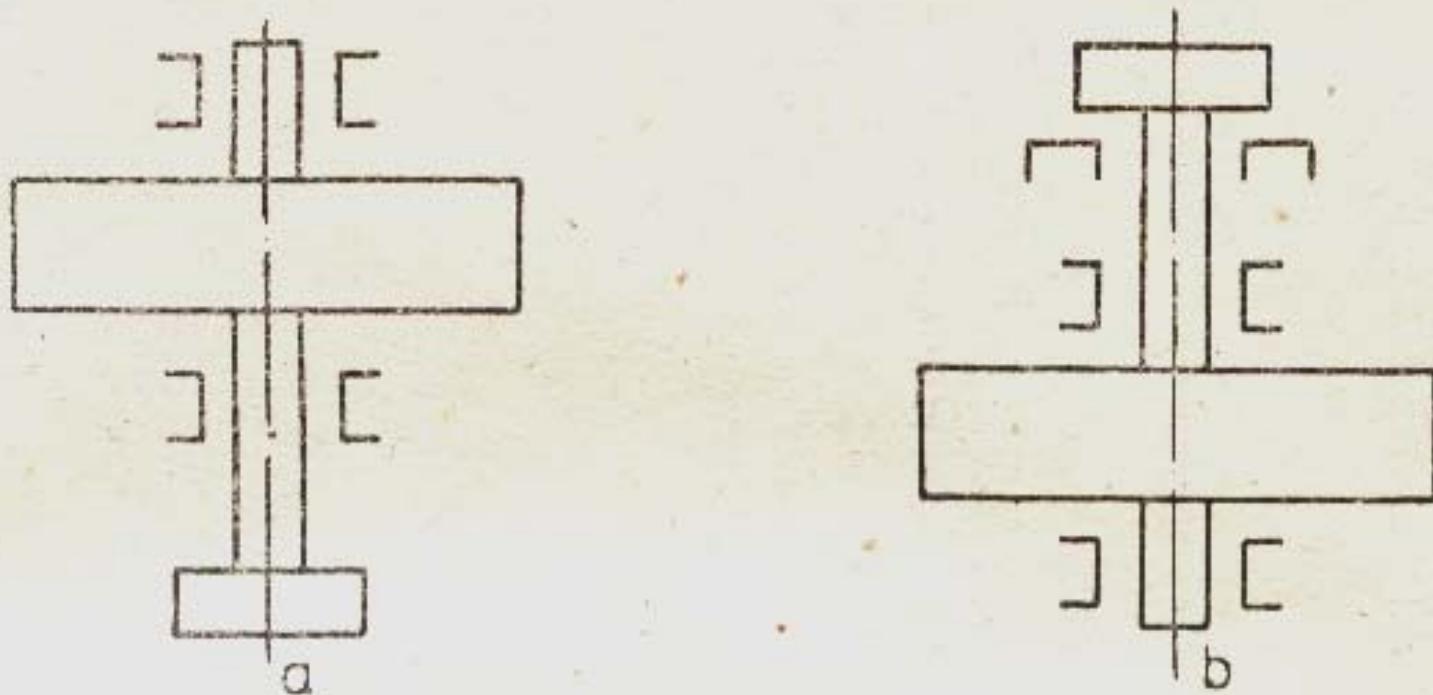


Fig. 1.8. Mașini verticale, în afara celor cu prima cifră 1...4:

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).

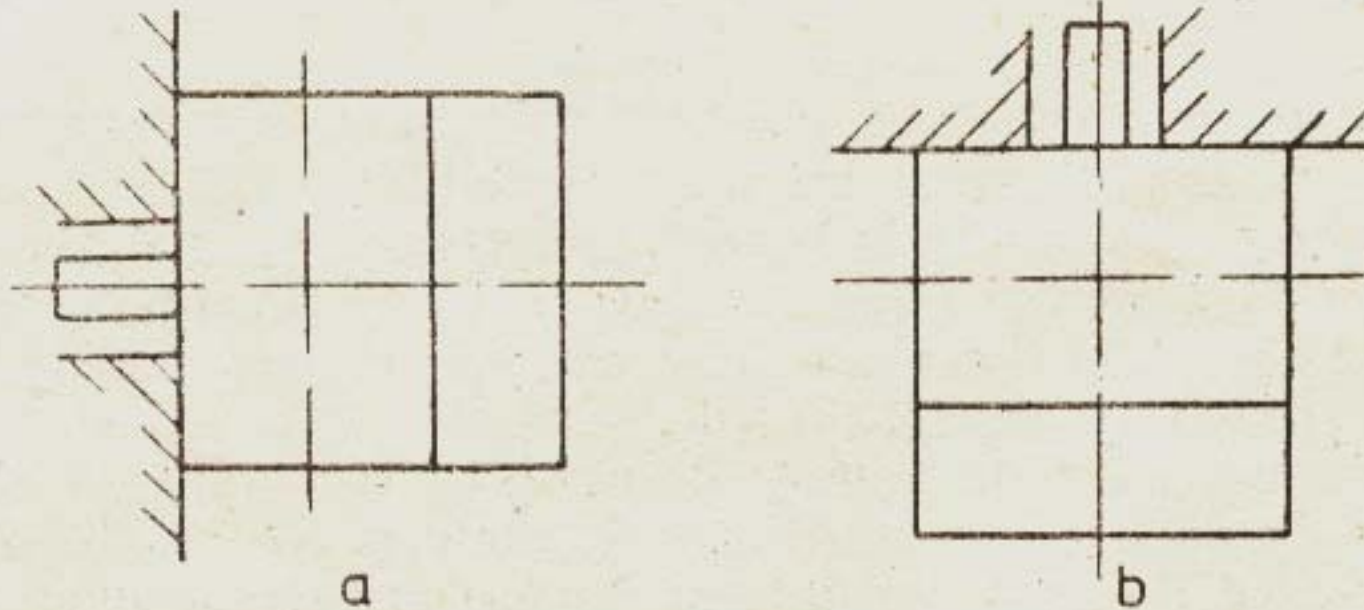
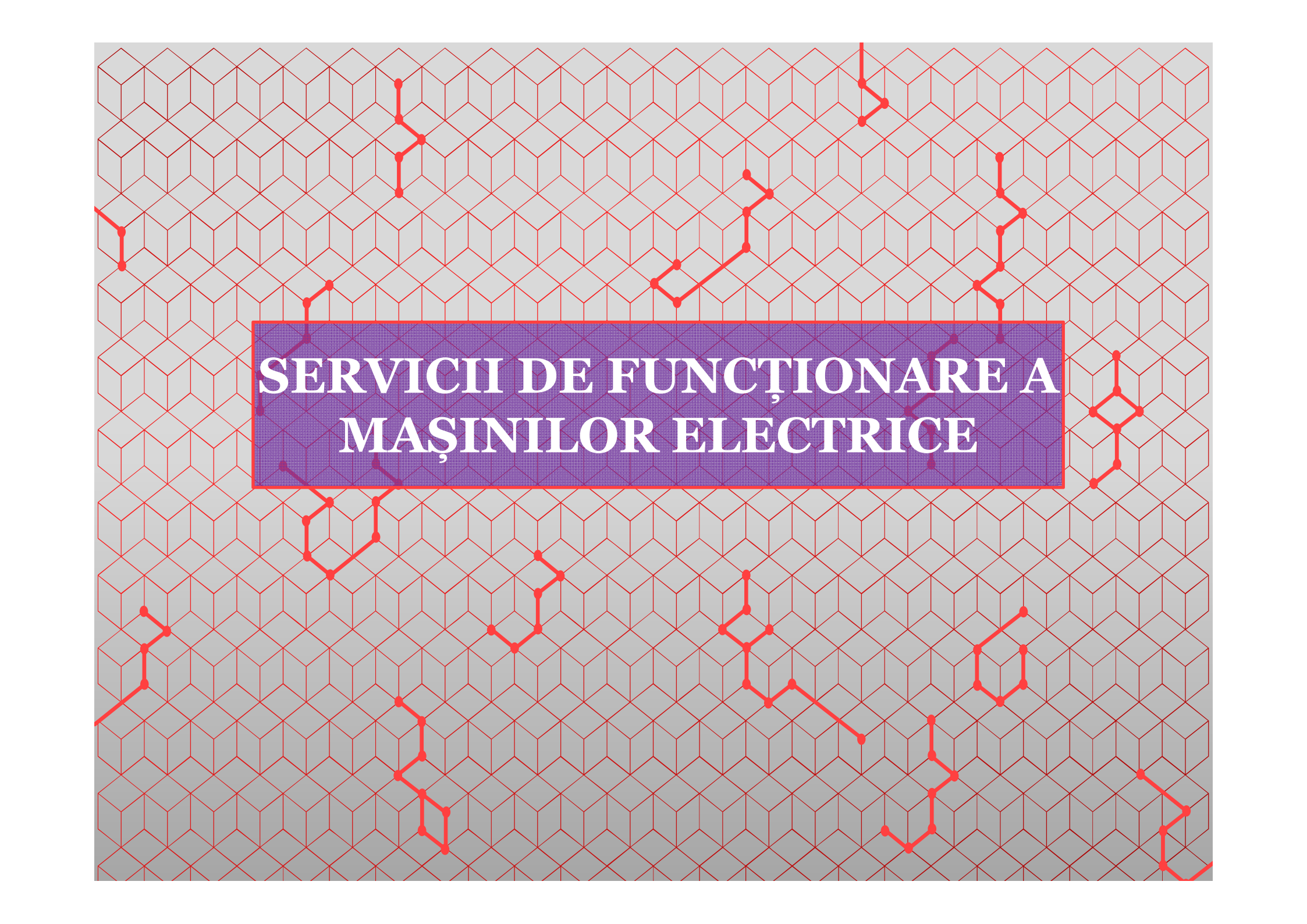


Fig. 1.9. Mașini cu mod de montaj special :

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).

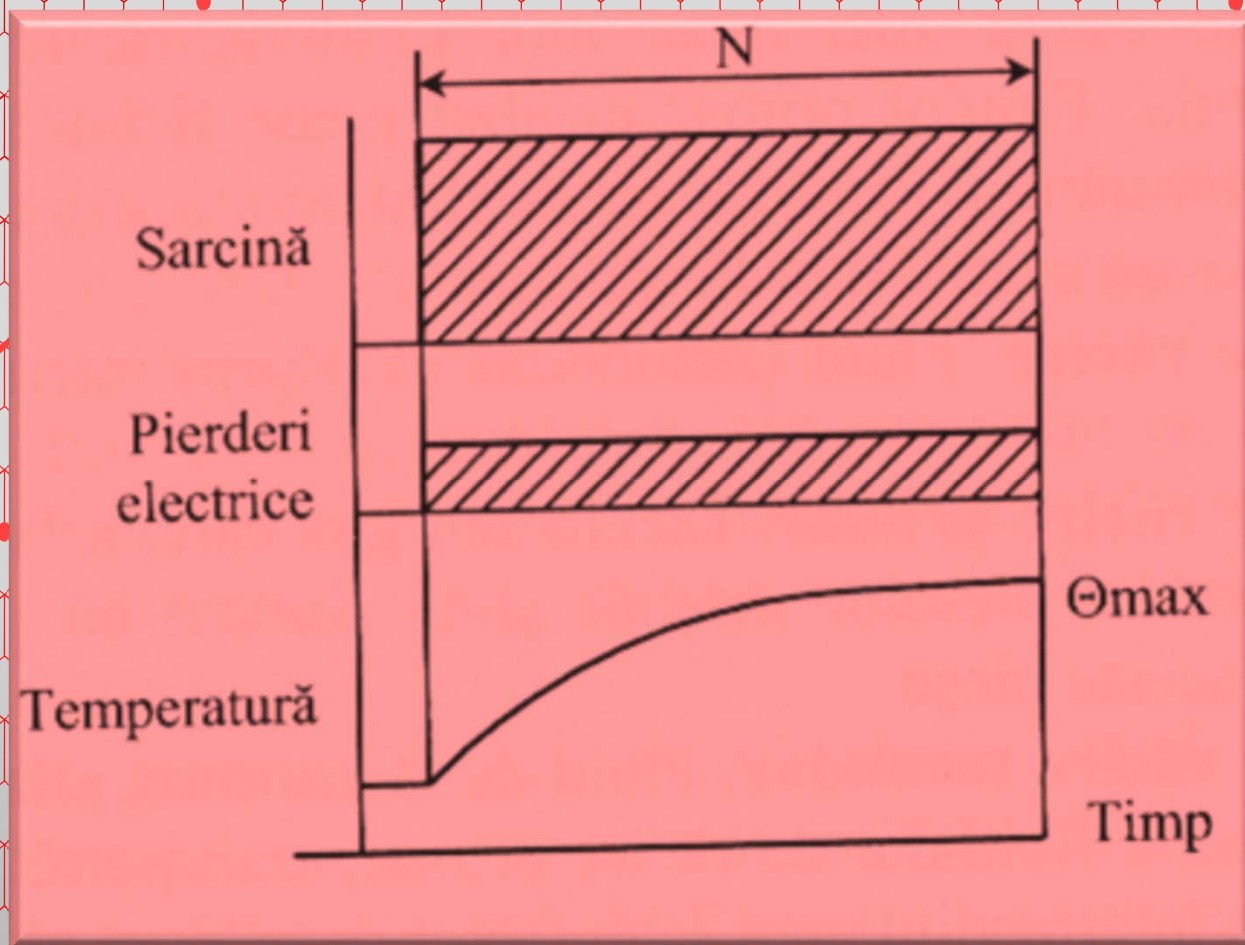


**SERVICII DE FUNCȚIONARE A
MAȘINILOR ELECTRICE**

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. CRC	CODE H	
OVER TEMP PROT 7		MCVA NOV EFFICIENCY	90.3	

MOTO. RRC: 521 LBS 9001-A

MFD. BY RELIANCE ELECTRIC INDUSTRIAL CO. MADE IN USA

LEESON INVERTER DUTY

INSULATION SYSTEM

DATE: J17B CC:

CAT. NO: 1110078.00 MODEL: C6T17FK140A

DUTY: CONT INS: F4 TYPE: TF

AMB: 40 °C PH: 3 ENCL: TEFC

FR: 56C CODE: K DESIGN: INV

COOLING: 41 PROT. CODE: 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	2.9

R1 1.0 R2 0.8 X1 1.26 X2 1.04 XM 31.0

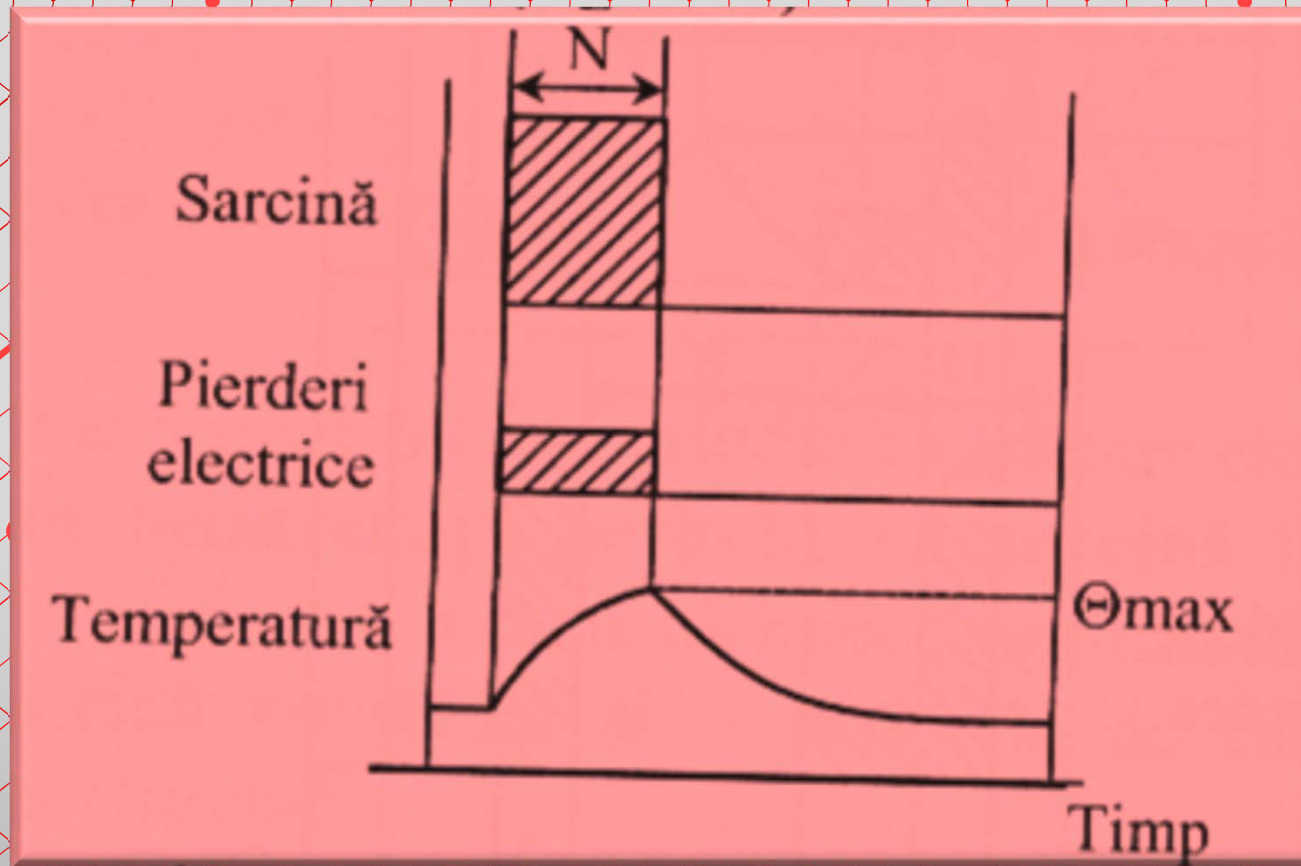
FOR PWM VFD USE ONLY

NP, BF2522625-1, 172720018

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



LEESON ELECTRIC A RESAL-SELOUT COMPANY DRAFTON, WISCONSIN MADE IN U.S.A.

Serviciul S2 – serviciu temporar



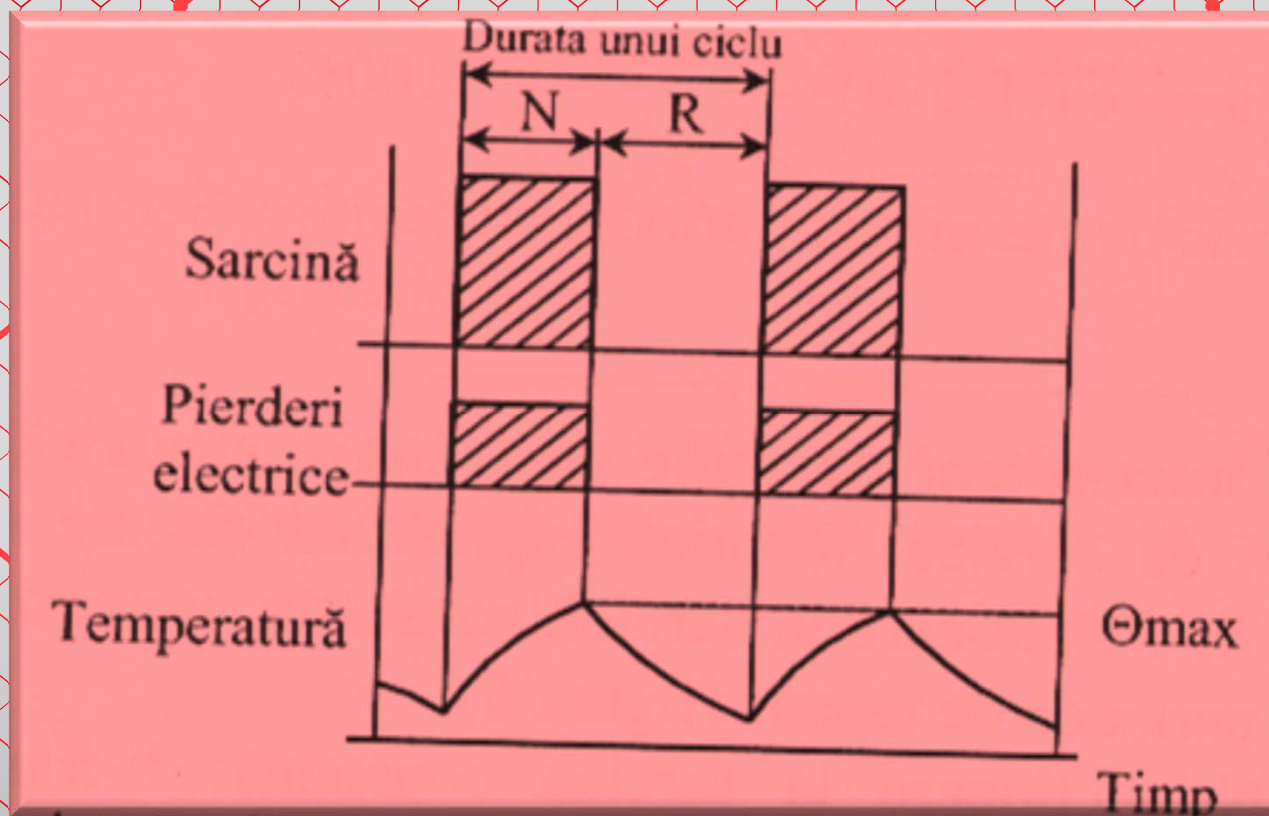
Funcționarea la sarcină constantă pe o durată de timp determinată, mai mică decât cea necesară pentru atingerea echilibrului termic, urmată de o perioadă de repaus de durată suficientă pentru restabilirea cu aproximație de 2 K a egalității de temperatură între mașină și fluidul de răcire.

Serviciul S2 – serviciu temporar

 ELMO SRL Viale Certosa N°8/B - Pavia - ITALY						 C US 205390		
P/N			S/N		Audit		Amb. 70°C	Ins. Cl. F
ph	Output		kW	HP		Duty S2 - 30 min		Prot. IP 00
<input type="text"/>	Hz	<input type="text"/>		V	R.P.M.	Code:	Design: <input type="text"/>	
<input type="text"/>		I nom.	<input type="text"/>		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 +86-13585754942 sales@cn-electric.com MADE IN CHINA

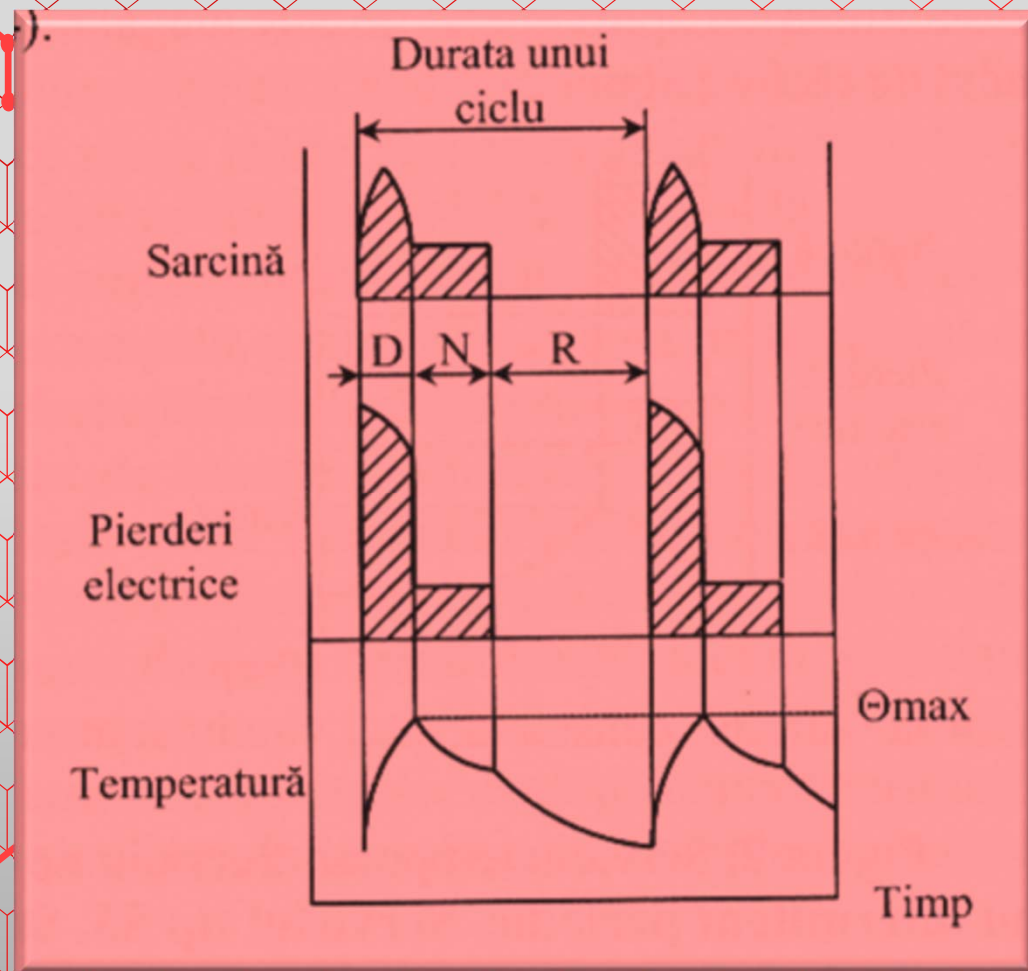
CRANE AND METALLURGICAL WOUND ROTOR THREE-PHASE INDUCTION MOTOR				
TYPE	YZR231-6	STANDARD		SERIES NO. 16120514
OUTPUT	11 kW	STATOR	380 V 27 A	CONN. Y FREQ. 50 Hz
SPEED	950 rpm	ROTOR	226 V 33 A	CONN. Y IP 54
DUTY	S3 25 %	J_m	0.2 kg.m ²	LW 88 dB(A) INS. CL. F IC 411
AMBIENT TEMP.	40 °C	IM	1001	W.T. 165 kg DATE 1/7/14

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

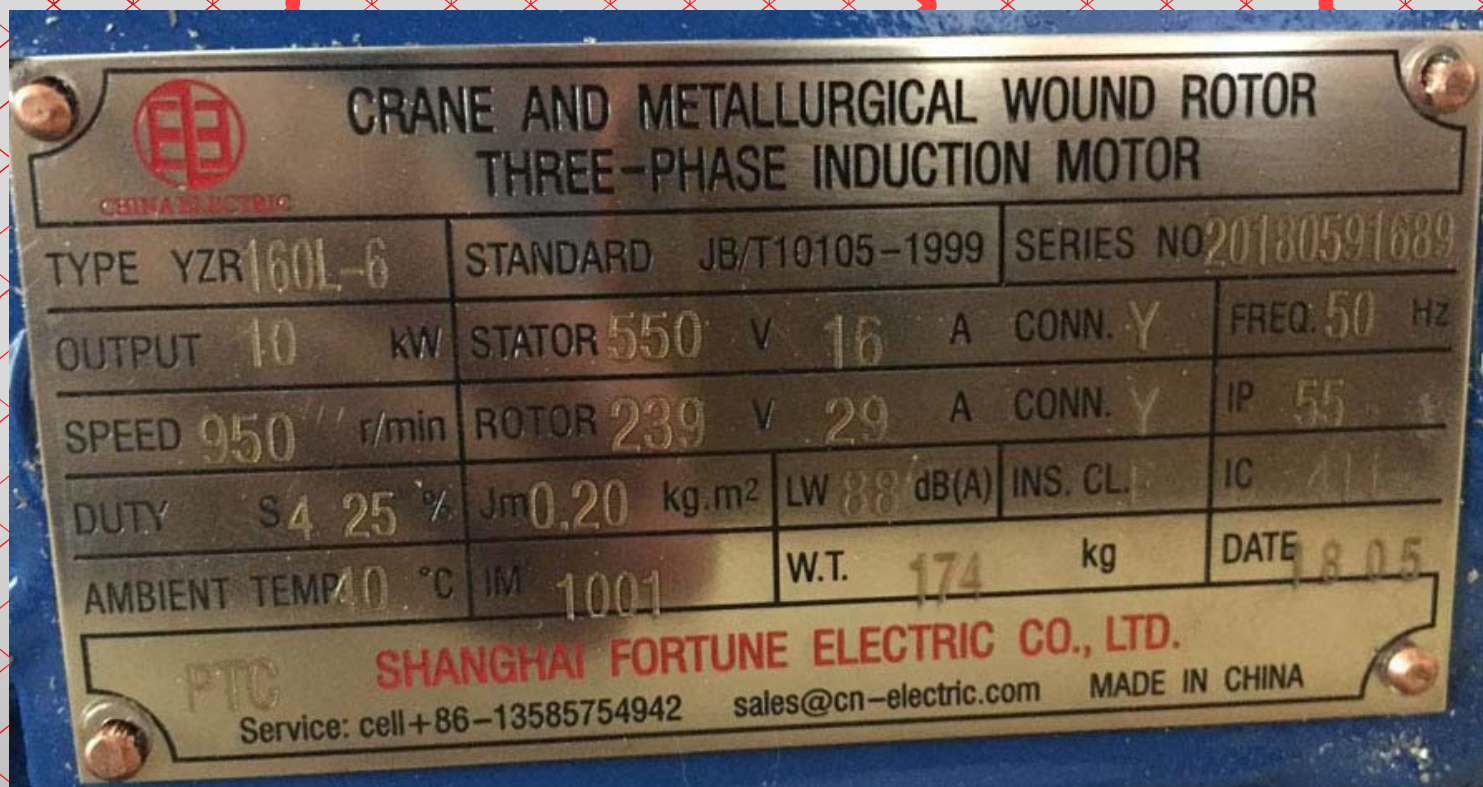


Suită de cicluri identice: pornire +
funcționare la sarcină constantă +
repaus

Durata de acțiune relativă:

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

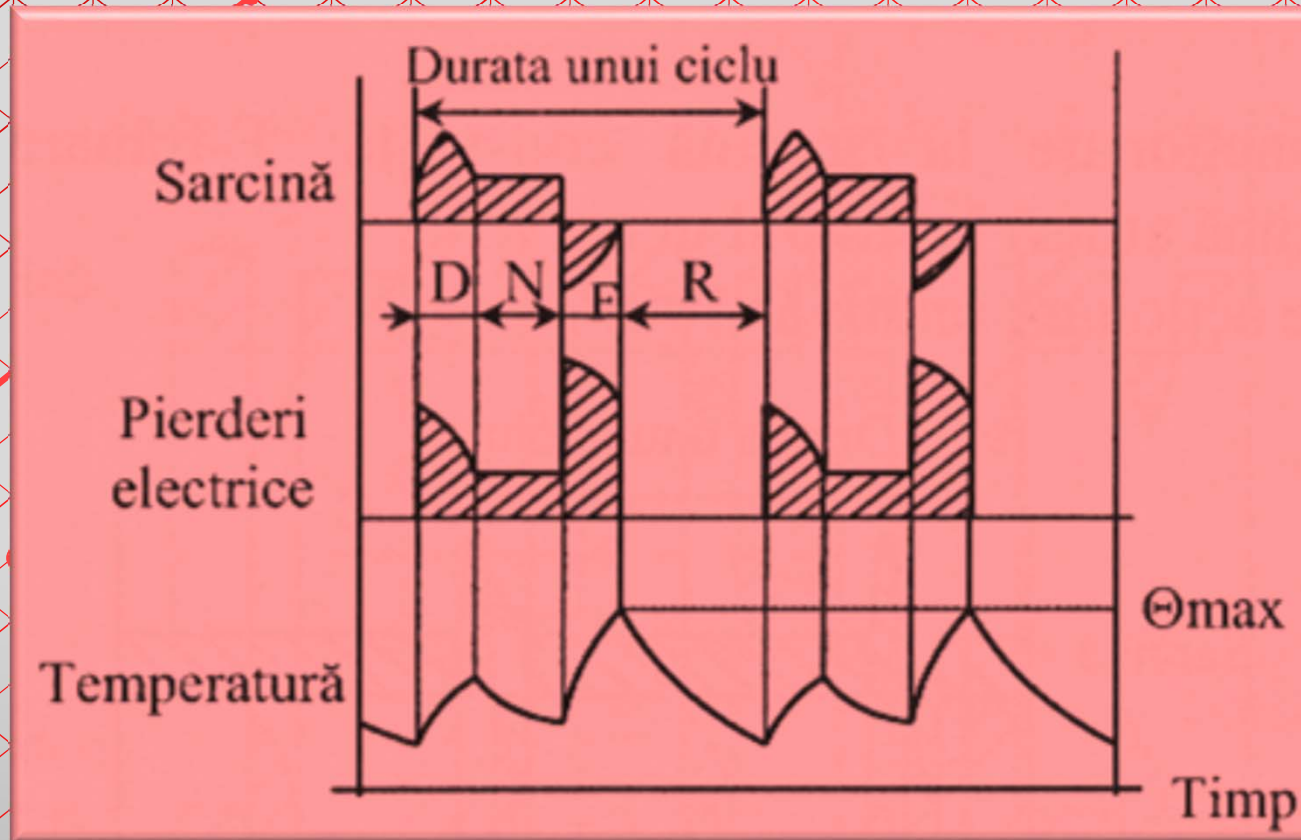
Serviciul S4 – serviciu intermitent periodic cu pornire



Durata de acționare relativă:

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

Serviciul S5 – Serviciu intermitent periodic cu franare electrica

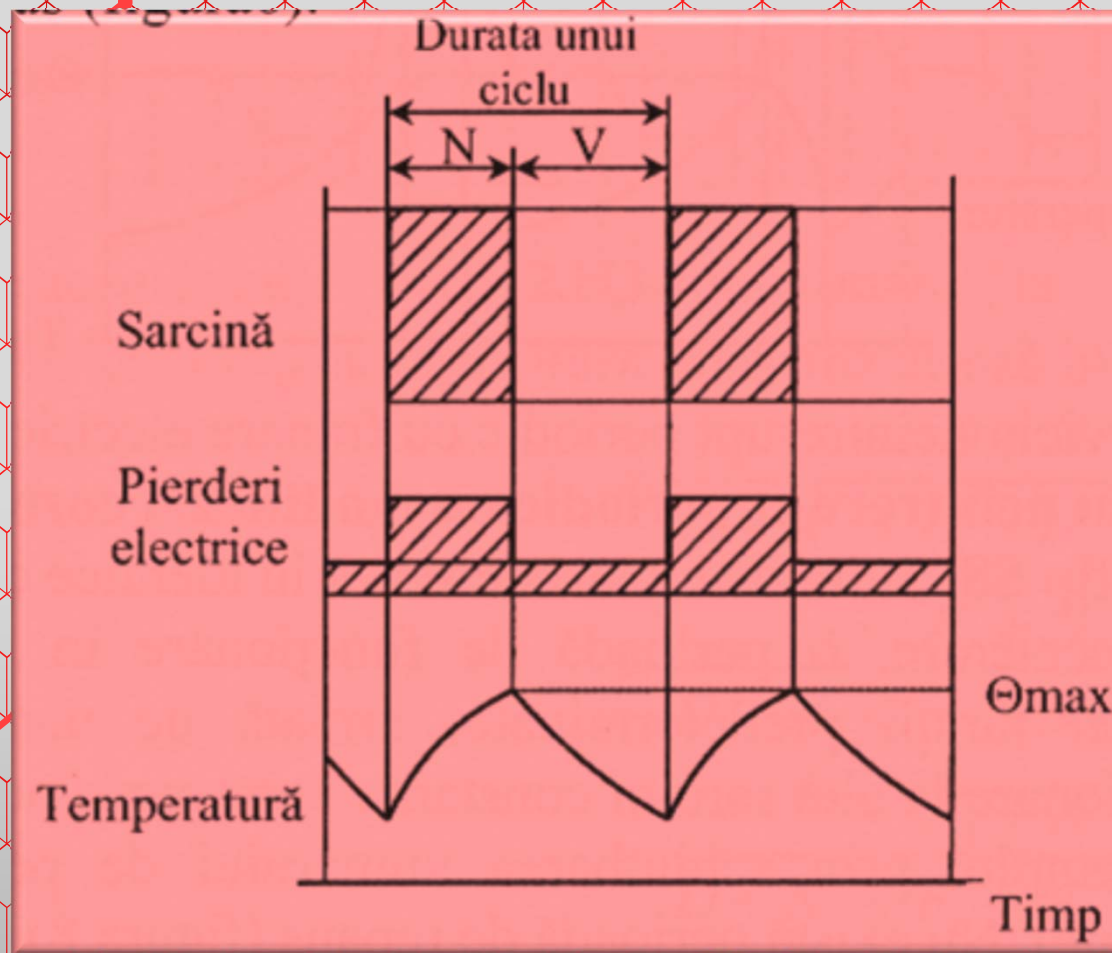


Suită de cicluri identice: pornire + funcționare la sarcină constantă + frânare electrică rapidă + repaus

Durata de acțiune relativă:

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

Serviciul S6 – Serviciu neîntrerupt periodic cu sarcină intermitentă

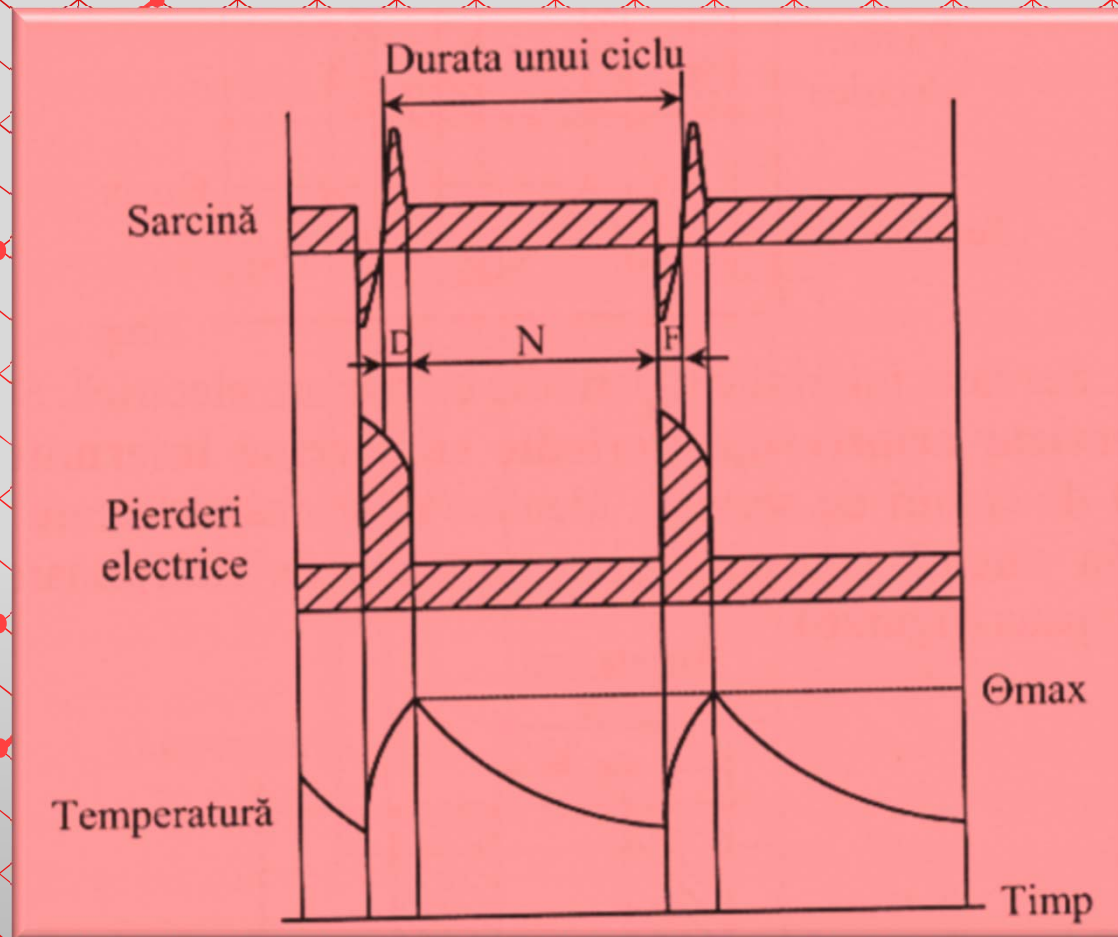


Suită de cicluri identice: funcționare la sarcină constantă + funcționare la gol (FĂRĂ repaus)

Durață de acțiune relativă:

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

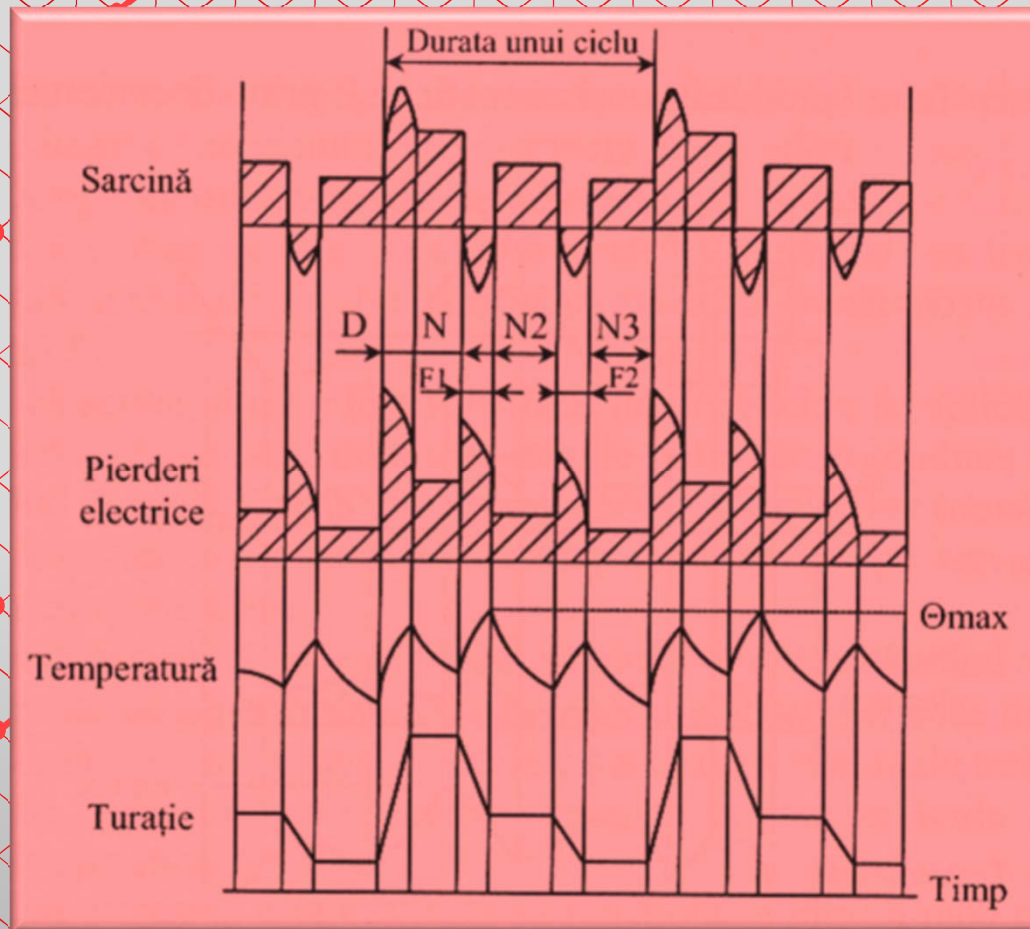
Serviciul S7 – Serviciu neîntrerupt periodic cu frânare electrică



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

Durata de acțiune relativă: 100%

Serviciul S8 – Serviciu neîntrerupt periodic cu modificari corelate cu sarcina si turatia

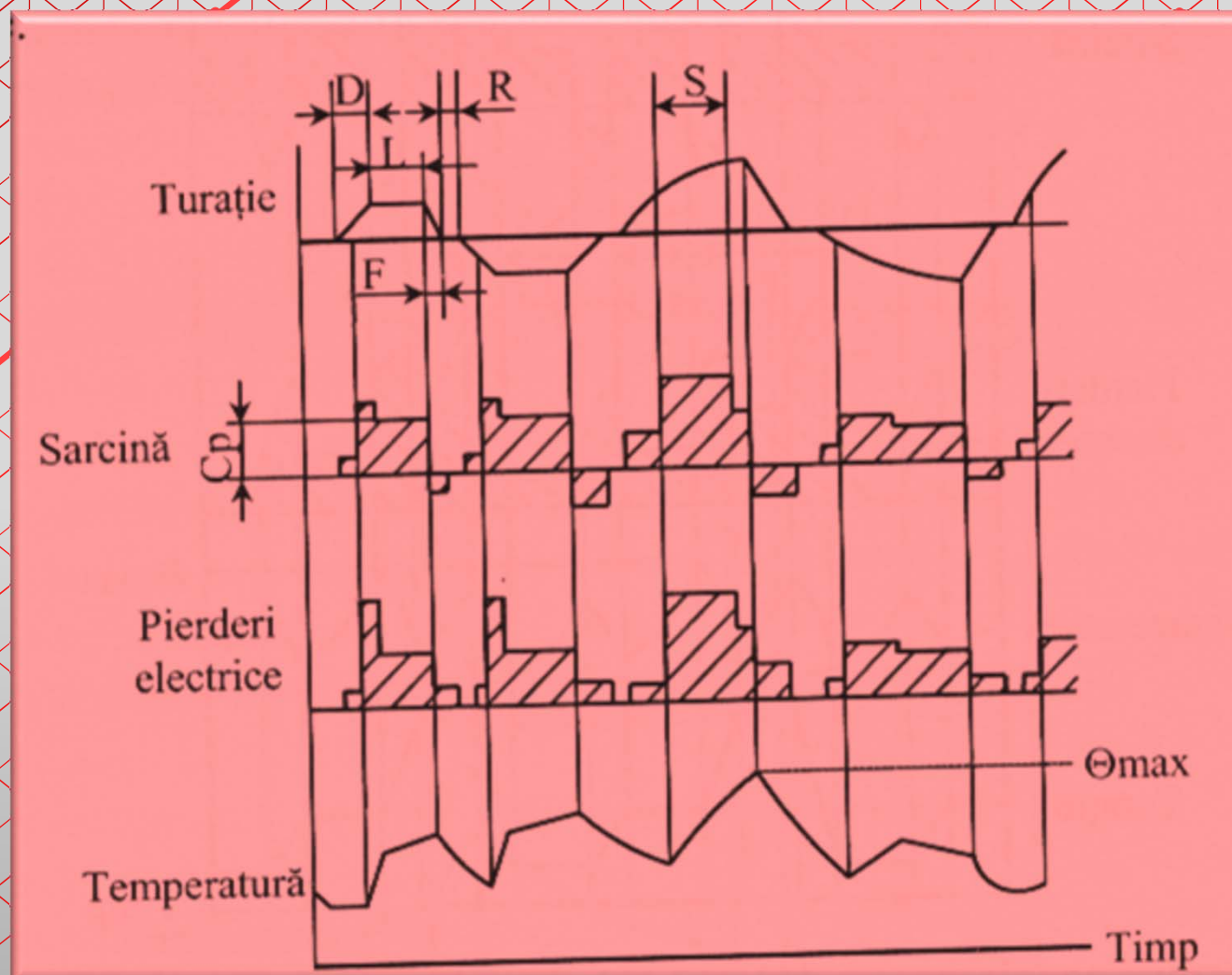


Suită de cicluri identice: accelerare (pornire) + funcționare la sarcină constantă + frânare + funcționare la altă sarcină constantă +... (FĂRĂ repaus)

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 turatie



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

Indicații adiționale

- **Durata unui ciclu: 10 min (daca nu se specifica altfel) sau o alta valoare indicată**
- **Durata de acționare relativă: 15%; 25%; 40%; 60%**
- **Serviciul S2 – urmat de durata de serviciu – ex: S2 60 min**
- **Serviciile S3 si S6 – urmate de durata de acționare relativă - ex; S3 25%, S6 15%**
- **Serviciile S4 si S5 - urmate de durata de acționare relativă si 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 si de valorile sarcinii, turației si 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%.**

slip or not to slip...

**PRODUCATOR,
SCENARIST,
REGIZOR**

