

# Evoluția tracțiunilor electrice în contextul protejării mediului

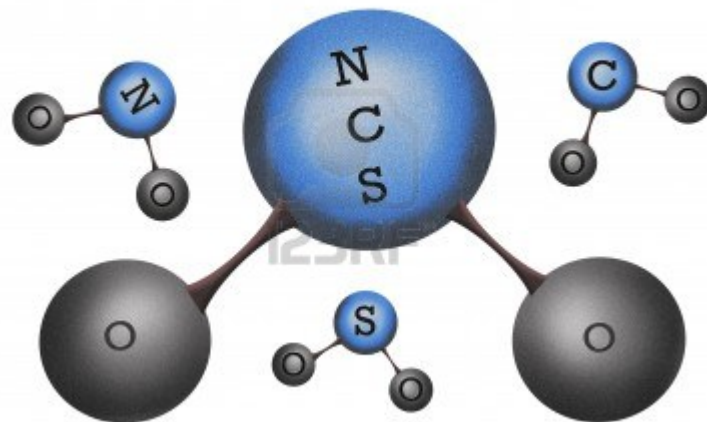
# Emisiile poluante ale autovehiculelor

Poluarea aerului relizată de autovehicule prezintă două mari particularități:

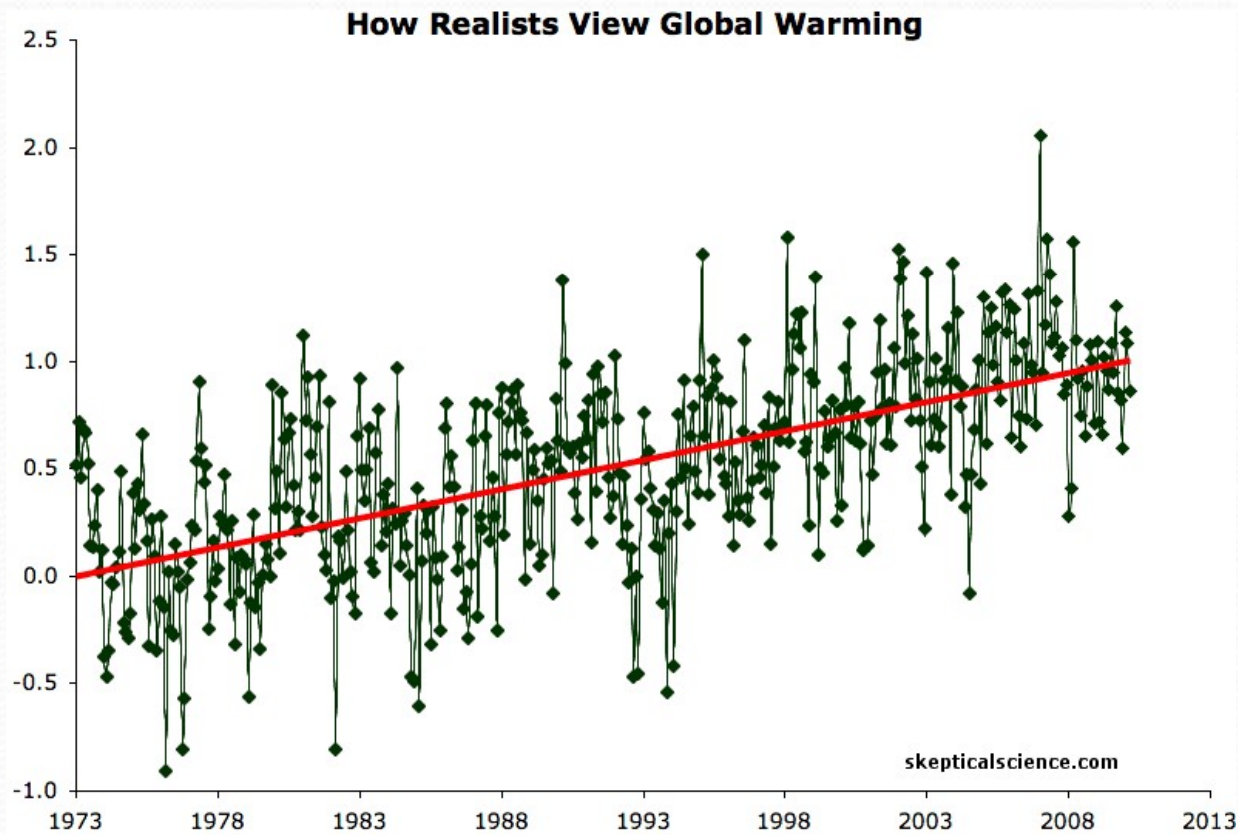
- în primul rând, eliminarea noxelor are loc foarte aproape de sol
- în al doilea rând, emisiile se produc pe suprafețe locuibile foarte extinse



Cel mai important factor poluant produs de vehiculele propulsate cu motoare cu combustie internă, îl reprezintă gazele de eșapament, în a căror componență se regăsesc o mulțime de compuși nocivi, cum ar fi: monoxidul de carbon (CO), hidrocarburile neare (CH<sub>x</sub>), dioxidul de sulf (SO<sub>2</sub>), oxizii de azot (NO<sub>x</sub>) și alții; volumul, natura și concentrația poluanților emiși depinzând de natura combustibilului, tipul și condițiile tehnice de funcționare ale autovehiculului.

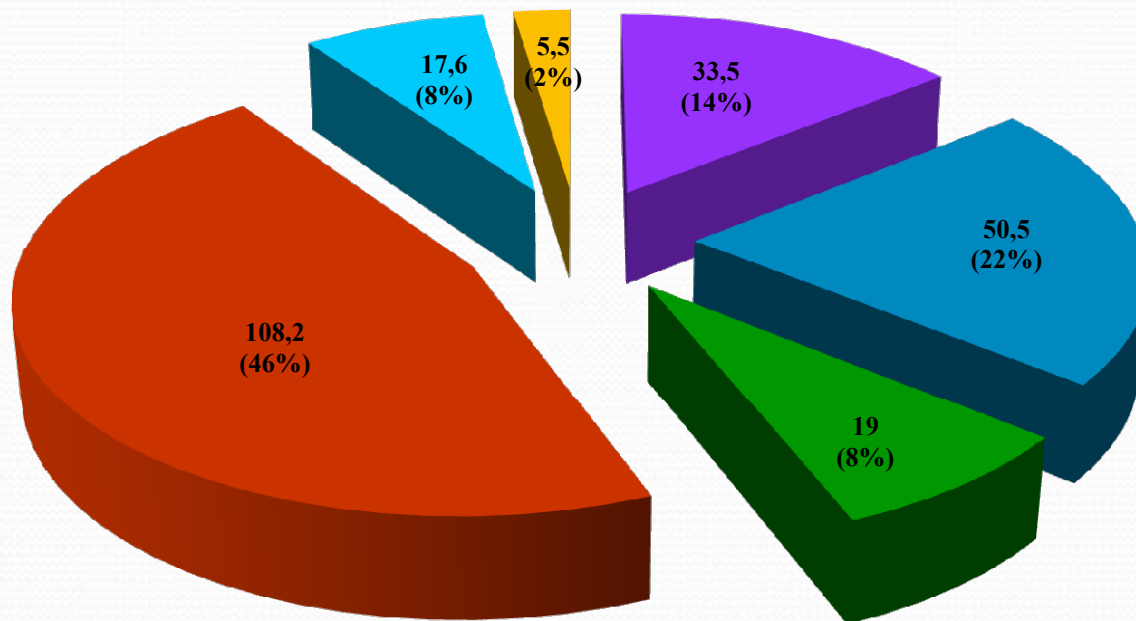


# Factori determinanți în evoluția tracțiunilor electrice





*Rezerve demonstrate de petrol  
(exprimate în miliarde tone)*



■ America de Nord

■ Europa și Eurasia

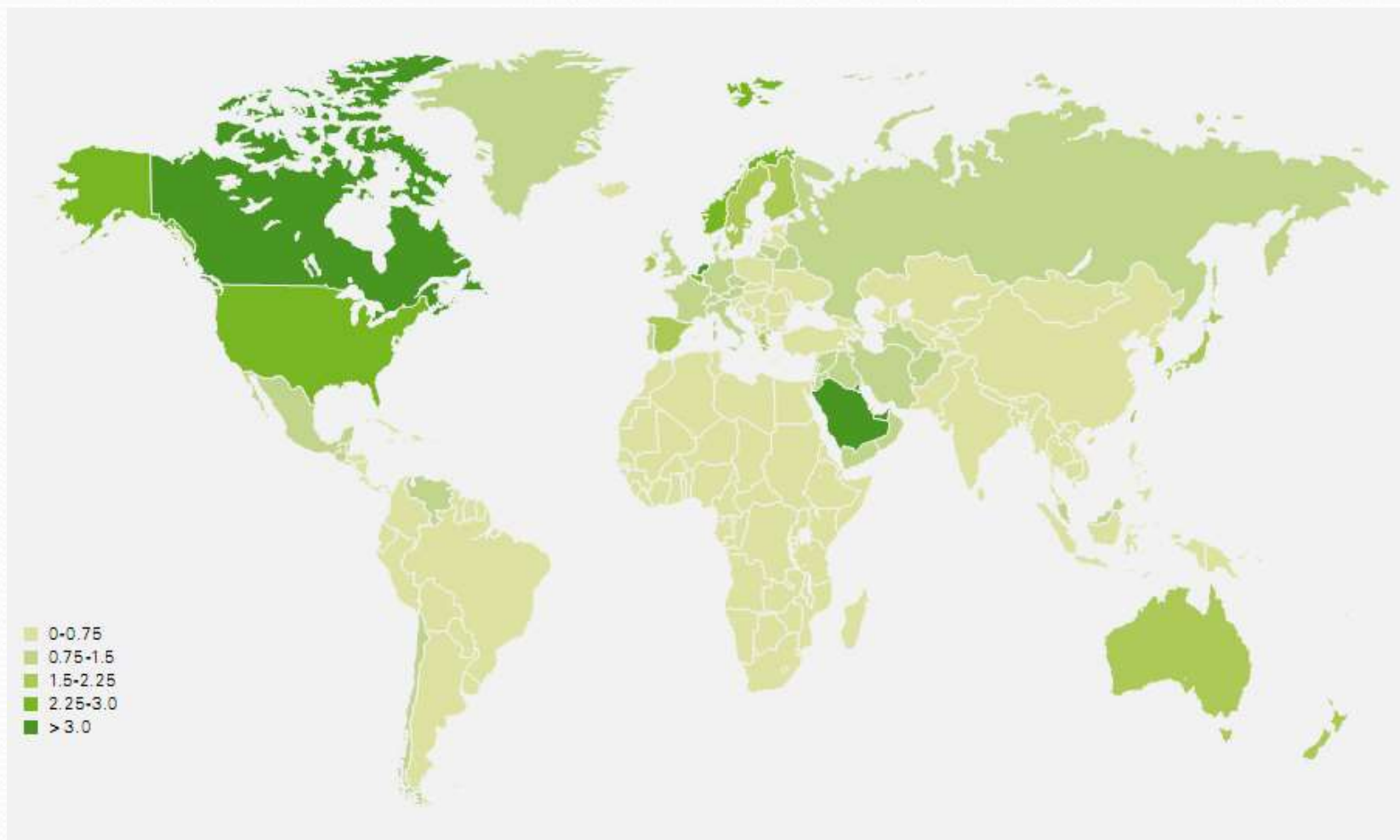
■ Africa

■ America Centrală și de Sud

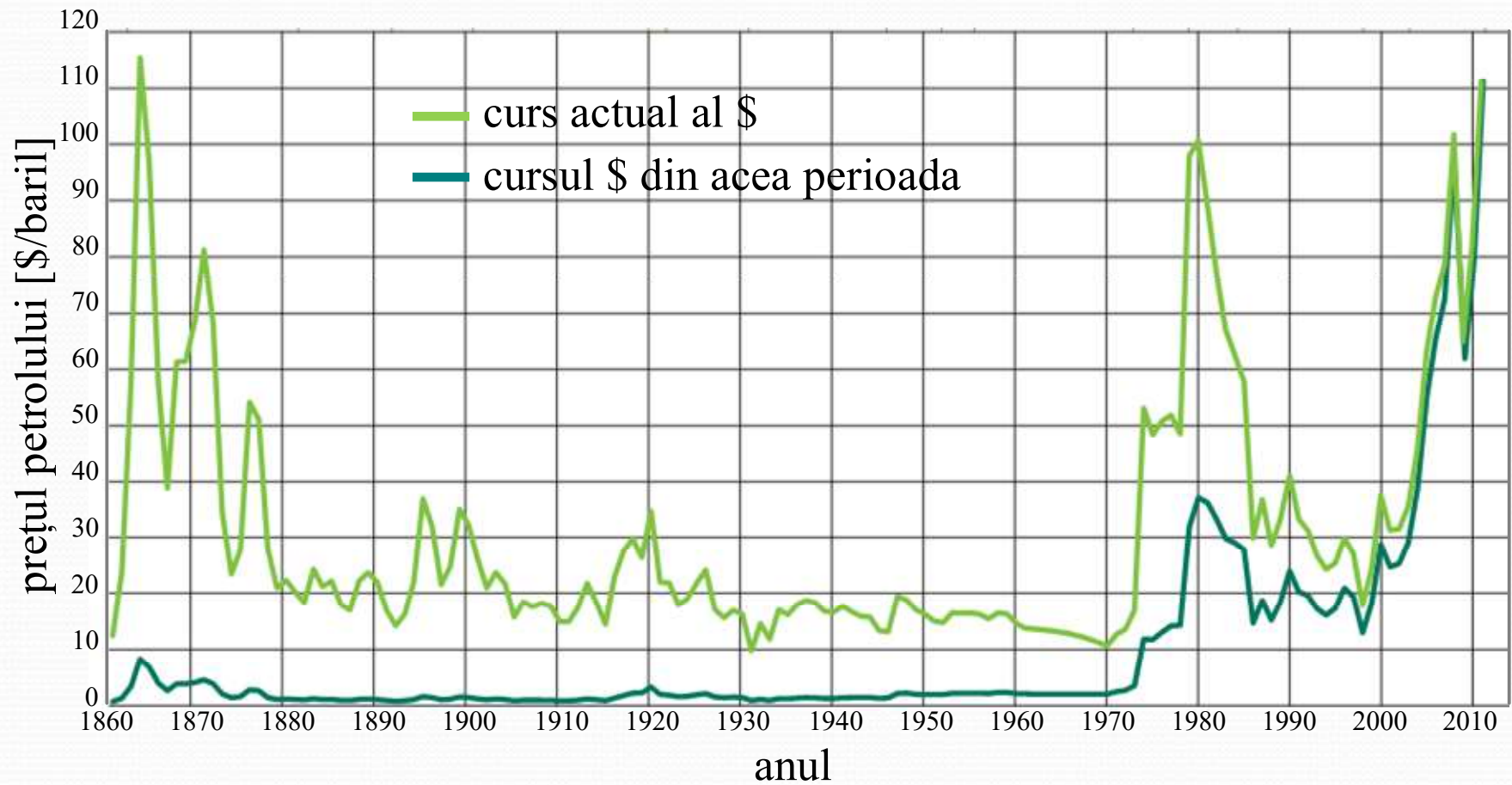
■ Orientul Mijlociu

■ Asia - Pacific

***Consumul mediu anual de petrol pentru anul 2011  
(exprimat în tone/cap de locuitor)***

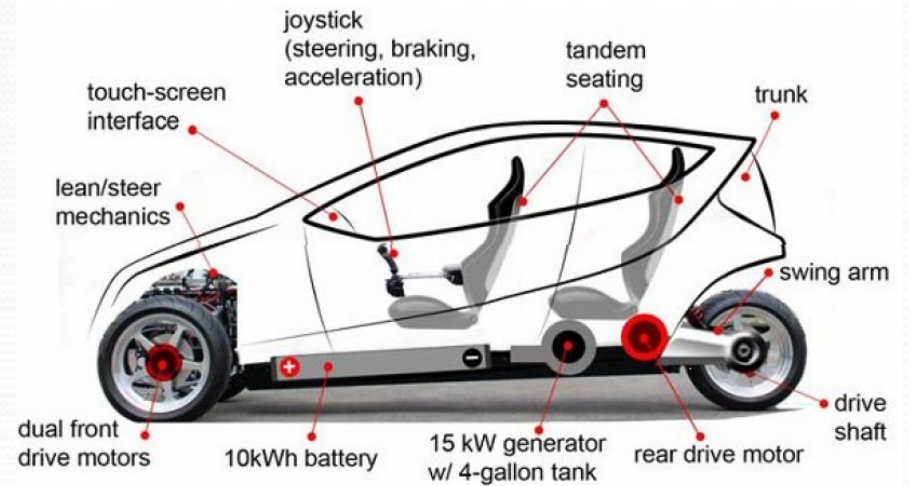


## Evoluția prețului barilului de petrol





# Evoluția tracțiunilor electrice pentru autovehicule







# TEORIA TRACȚIUNII ELECTRICE



**1. Ecuația fundamentală a mișcării liniare accelerate a vehiculelor electromotoare**

**2. Forțe de rezistență la înaintarea vehiculelor**

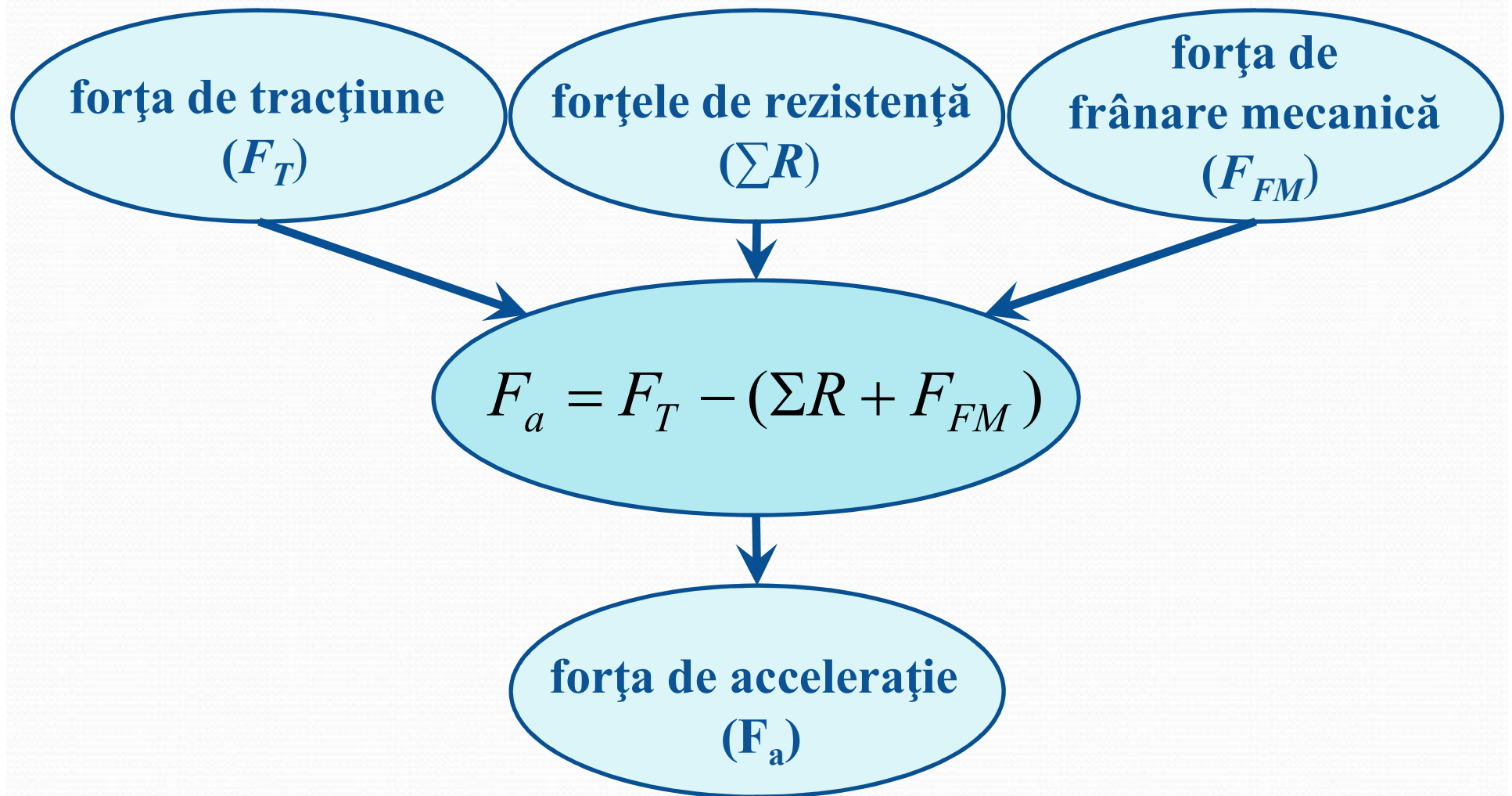
**3. Fenomenul de aderență. Caracteristica forță – viteză în tracțiune**

# 1. Ecuația fundamentală a mișcării liniare accelerate a vehiculelor electromotoare

**Definiție:** *Tracțiunea* reprezintă o acționare a unor vehicule sau mijloace de transportare terestră a mărfurilor sau călătorilor.

**Caracteristici:** Mișcare liniară mai mult accelerată (dinamică) decât uniformă (staționară), fiind însoțită de multe porniri, frânări, accelerări și decelerări.

## Echilibrul forțelor:





## Forța de accelerație: (Legea a II-a a lui Newton)

$$F_a = m_R a = m_R \frac{dv}{dt}$$

masa raportată  
a vehicolului

masa echivalentă  
elementelor în  
mișcare de rotație

$$m_R = m_V + m_{ROT.E}$$

masa elementelor în  
mișcare de translație

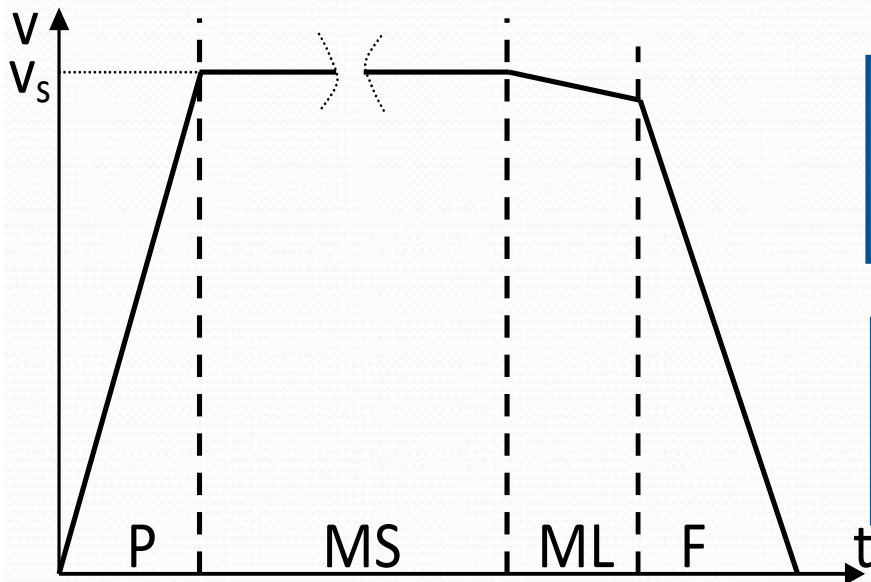
## Ecuatia fundamentală a mișcării liniare

$$F_a = F_T - (\Sigma R + F_{FM})$$

$$F_a = m_R a = m_R \frac{dv}{dt}$$

$$F_T - (\Sigma R + F_{FM}) = m_R \frac{dv}{dt}$$

## Faze de lucru în tracțiune



**P - pornire**

$$F_T > \sum R; F_{FM} = 0, \\ F_a > 0, a > 0$$

**MS - mersul  
staționar**

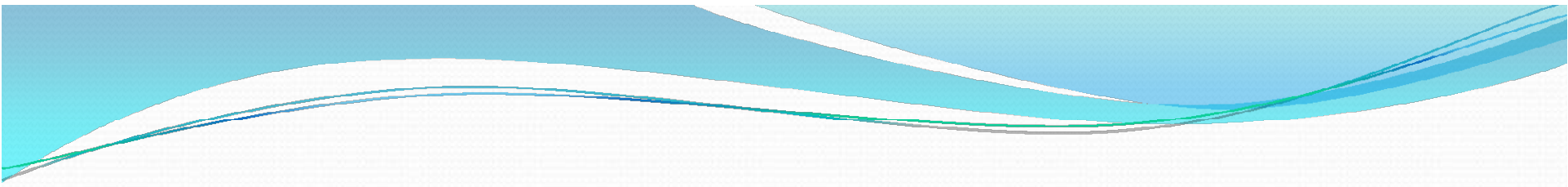
$$F_T = \sum R; F_{FM} = 0 \\ F_a = 0, a = 0$$

**ML - mersul  
lansat**

$$F_T = 0, F_{FM} = 0, \\ F_a = - \sum R < 0, a < 0$$

**F - frânare**

$$F_a = - F_T - \sum R - F_{FM} \ll 0 \\ a \ll 0$$


$$m_R = m_v + m_{ROT.E} = m_v + \gamma m_v = m_v (1 + \gamma)$$

unde  $\gamma = m_{ROT.E} / m_v$

Ca urmare:

$$F_T - (\Sigma R + F_{FM}) = m_V (1 + \gamma) \frac{dv}{dt}$$



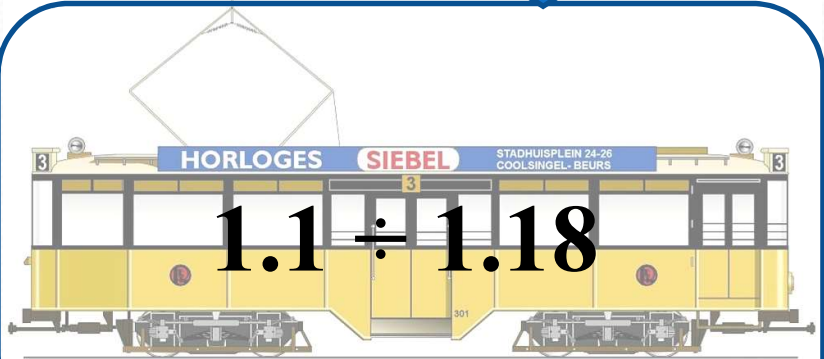


$1.13 \div 1.15$

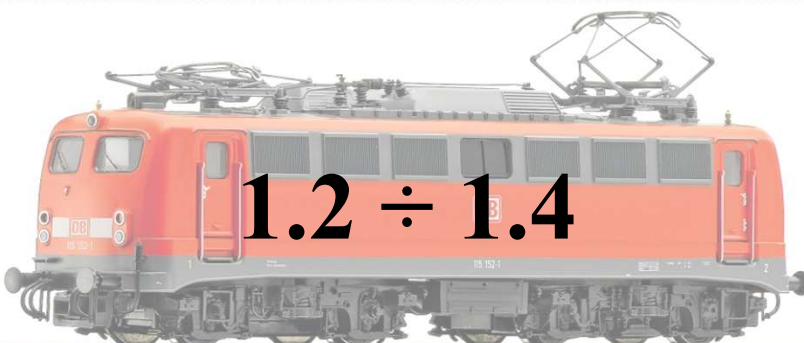


$1.04 \div 1.08$

$(1+\gamma)$  - coeficient global  
de masă sau de inerție



$1.1 \div 1.18$



$1.2 \div 1.4$

## 2. Forțe de rezistență la înaintarea vehiculelor

$$\Sigma R = R_p + R_s$$

*$R_p$  - principale*

Rezistențele  
interioare

Rezistența  
aerodinamică

Rezistențele  
căii

*$R_s$  - suplimentare*

Rezistența  
datorată  
declivităților

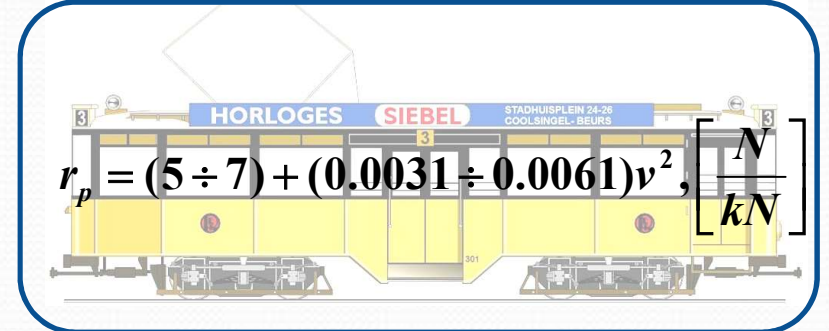
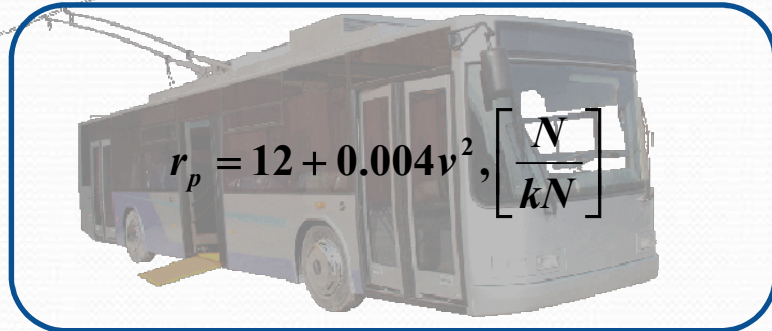
Rezistența la  
înțepenire

Rezistența  
datorată  
curbelor

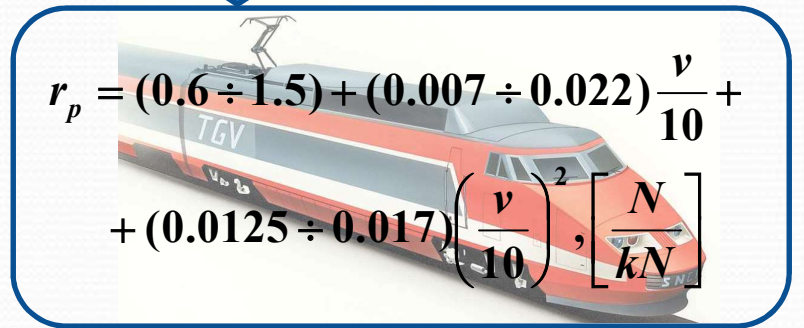
Rezistența  
vântului

## Rezistențe principale:

$$R_P = (a + bv + cv^2)G_v, [N]$$



$$r_p = \frac{R_P}{G_v} = (a + bv + cv^2), \left[ \frac{N}{kN} \right]$$





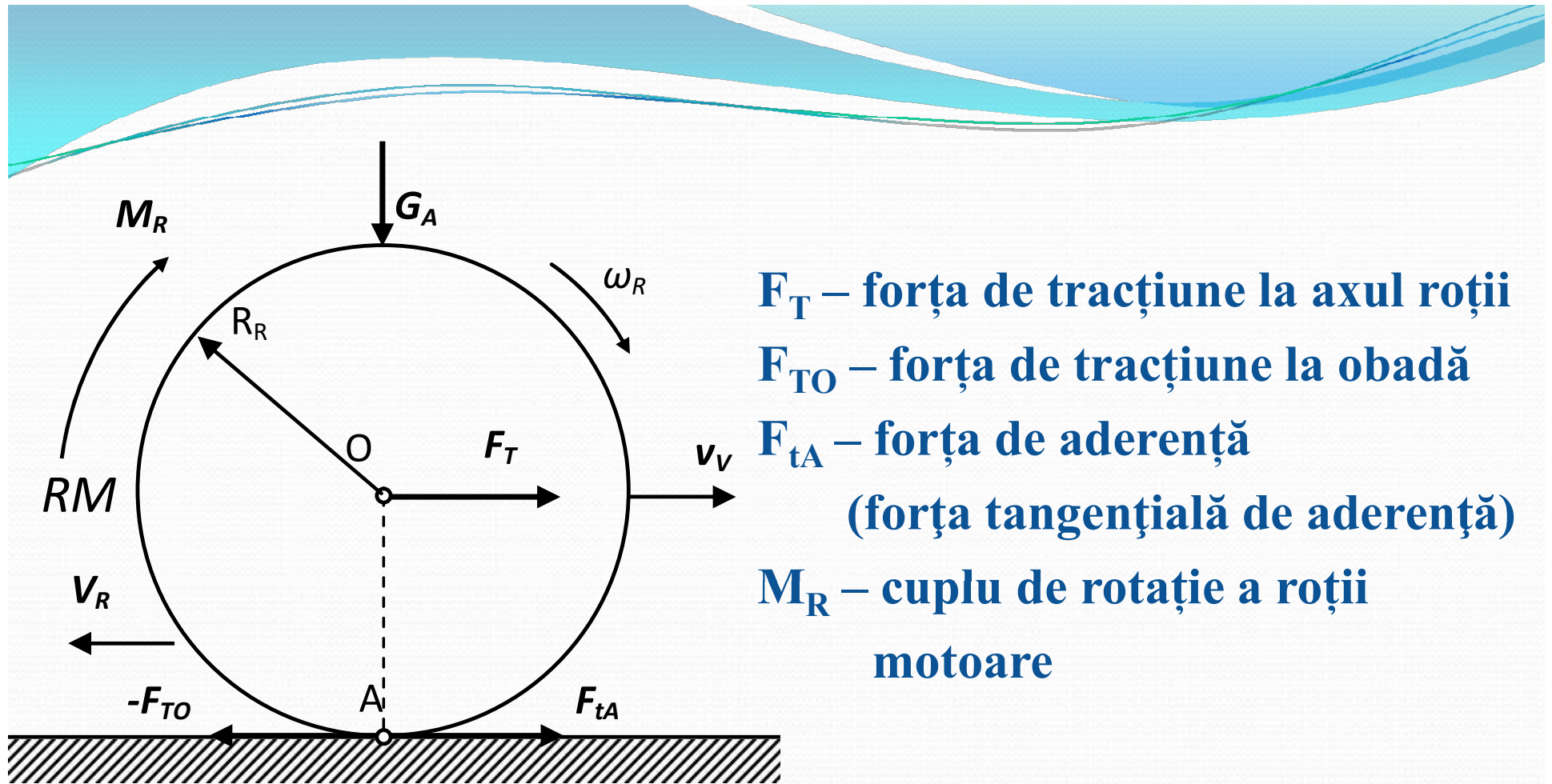
# TEORIA TRACȚIUNII ELECTRICE



### 3. Fenomenul de aderență. Caracteristica forță – viteză în tracțiune

**Definiție:** Fenomenul de *aderență* se manifestă la contactul dintre roțile motoare RM ale unui vehicul și calea de rulare, sub acțiunea greutății vehiculului  $G_V$  și a roților  $G_R$ , manifestându-se ca o forță exterioară tangențială, numită *forță de aderență*.

Prin intermediul acestei forțe mișcarea de rotație a roților se transformă în mișcare de translație a vehiculului.



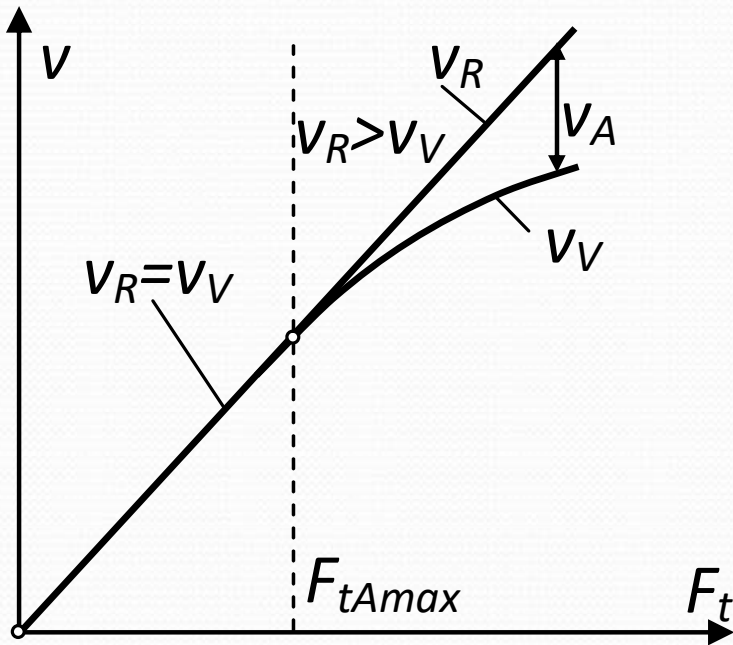
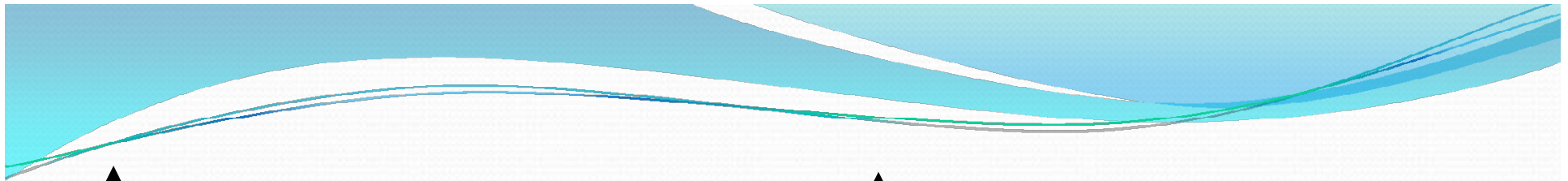
$F_T$  – forța de tracțiune la axul roții  
 $F_{TO}$  – forța de tracțiune la obadă  
 $F_{tA}$  – forța de aderență  
 (forța tangențială de aderență)  
 $M_R$  – cuplu de rotație a roții  
 motoare

regim staționar  $\omega_R = const.$

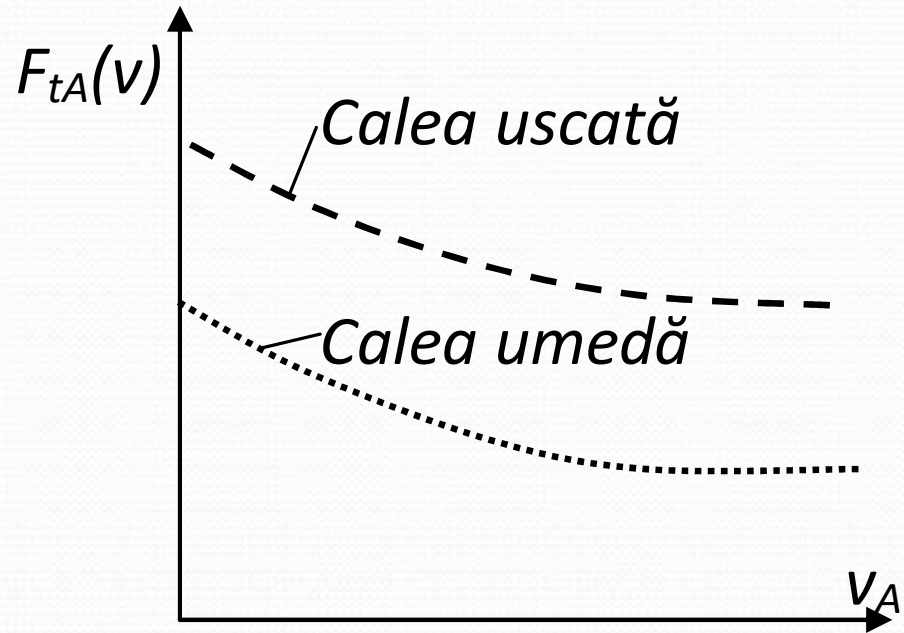
$$F_T = F_{tA}$$

regim dinamic  $\frac{d\omega_R}{dt} \neq 0$

$$F_T - F_{tA} = \frac{J_{\Sigma} d\omega_R}{R_R dt}$$



Dependența vitezei



Dependența forței de tracțiune

**viteza de alunecare**

$$v_A = v_R - v_V$$

Apariția mișcării de alunecare se numește *ruperea aderenței* dintre roată și cale



## Forța maximă de aderență:

$$F_{tA \max} = 1000 \varphi G_A$$

unde:

$G_A = G_V / z$  [kN] - greutatea de aderență

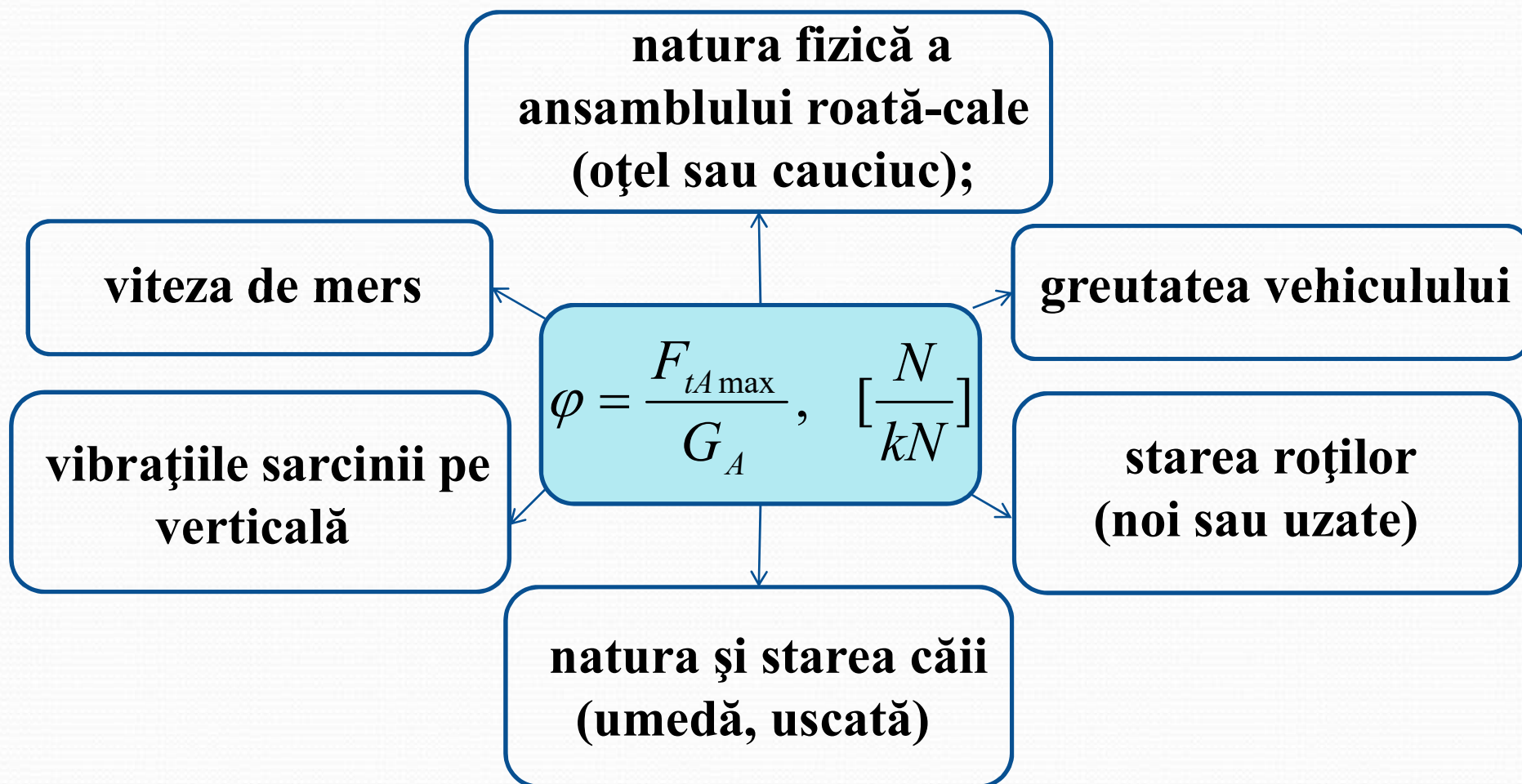
$G_V$  – greutatea totală a vehiculului,

$z$  – numărul perechilor de roți (osii) motoare

$\varphi$  – coeficientul de aderență



## Coeficientul de aderență:





**Valori maxime ale coeficientului de aderență -  $\varphi$  pentru roți pneumatice funcție de natura căii de rulare**

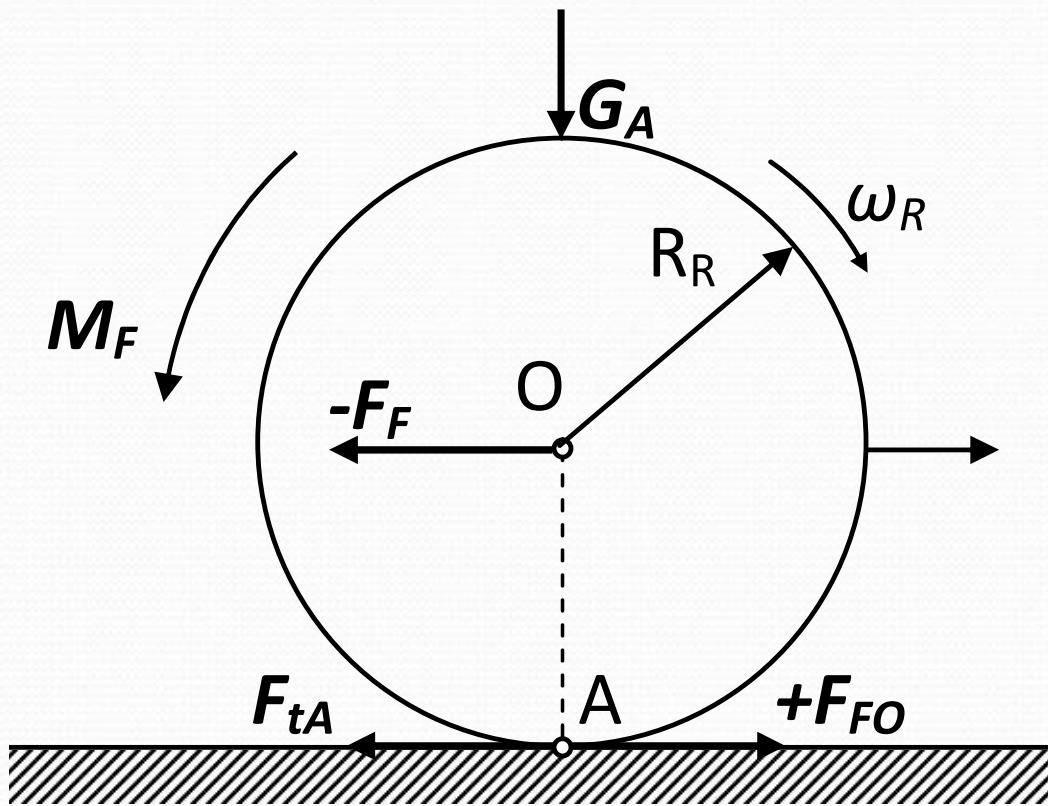
<b>Nr. crt.</b>	<b>Natura carosabilului</b>		<b>Valoarea coeficientului de aderență</b>
1	Beton	uscat	0,85
		umed	0,6
2	Asfalt	uscat	0,55-0,6
		umed	0,4
3	Beton sau asfalt cu zăpadă		0,2-0,3
4	Asfalt cu polei/gheață		0,05-0,15



## Valoarea reală a coeficientului de aderență – $\varphi$ pentru diverse tipuri de vehicule

Nr. crt.	Tipul de vehicul	Valoarea coeficientului de aderență
1	Transport terestru cu roți metalice	0,15-0,17
2	Metrou	0,2-0,22
3	Transport cu roți de cauciuc	0,25-0,4
4	Troleibuze	0,4

Forța de frânare electrică:  $F_F = -M_R / R_R < 0$



Ecuția de mișcare a roții

$$-F_F + F_{tA} = \frac{J_\Sigma}{R_R} \frac{d\omega_R}{dt}$$



## Aplicații:

Să se calculeze putera motorului unui troleibuz cu o masă de 10 t, capabil să dezvolte o accelerație de  $1,0 \text{ m/s}^2$  până la o viteză de 26 km/h, pe o înclinație de 70 ‰ și să învingă rezistența specifică principală de 120 N/t. Turația necesară a motorului se calculează pentru un raport de transmisie  $i_R = 11,41$  având randamentul reductorului  $\eta_R = 0,9$  și diametrul roții  $D_R = 1,07 \text{ m}$ .

## Rezolvare:

$$\begin{aligned} F_T &= m_V (1 + \gamma) \frac{dv}{dt} + \sum R = m_V (1 + \gamma) a + [r_p + i_{\%o}] m_V = \\ &= 10 \cdot 10^3 \cdot 1.13 \cdot 1 + (120 + 70) \cdot 10 = 13200 N = 13.2 kN \end{aligned}$$

$$P = \frac{F_T \cdot v}{3.6 \cdot \eta_R} = \frac{13.2 \cdot 26}{3.6 \cdot 0.9} = 106 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30}{\pi} \cdot i_R \frac{2v}{3.6 \cdot D_R} = 5.3 \cdot i_R \frac{v}{D_R} = \\ &= 5.3 \cdot 11,41 \frac{26}{3,6 \cdot 1,07} = 1470 \text{ rot/min} \end{aligned}$$

# SISTEME DE TRACȚIUNE ELECTRICĂ FERROVIARĂ

# Noțiuni generale

După modul de alimentare cu energie se împart în 2 categorii principale:

*autonome* – cu surse proprii de energie, de regulă, termică, de aceea ele se mai numesc locomotive termice sau Diesel, destinate căilor neelectrificate.

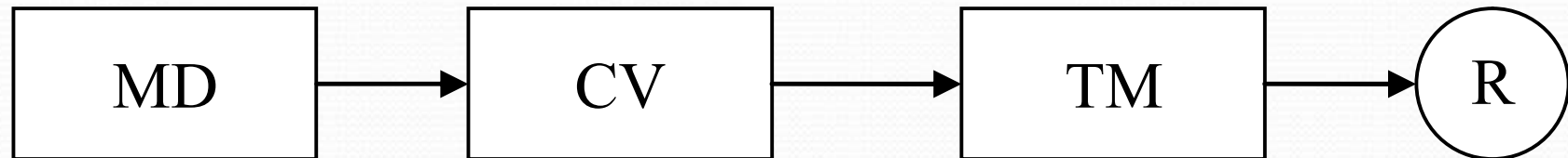
*neautonome* – cu surse exterioare de energie, de regulă, electrică, prin urmare având în componență motoare electrice, motiv pentru care se mai numesc locomotive electrice (LE), destinate căilor ferate electrificate.



# Sisteme autonome de tracțiune feroviară

Transportul pe căile ferate (CF) neelectrificate este asigurat de către locomotivele diesel (LD) și diesel-electrice (LDE). Ambele tipuri de locomotive au ca sursă principală de energie un motor Diesel (MD), care transformă energia chimică a combustibilului (motorina) în energie termică, mai întâi, apoi în energie mecanică la arborele său de ieșire.

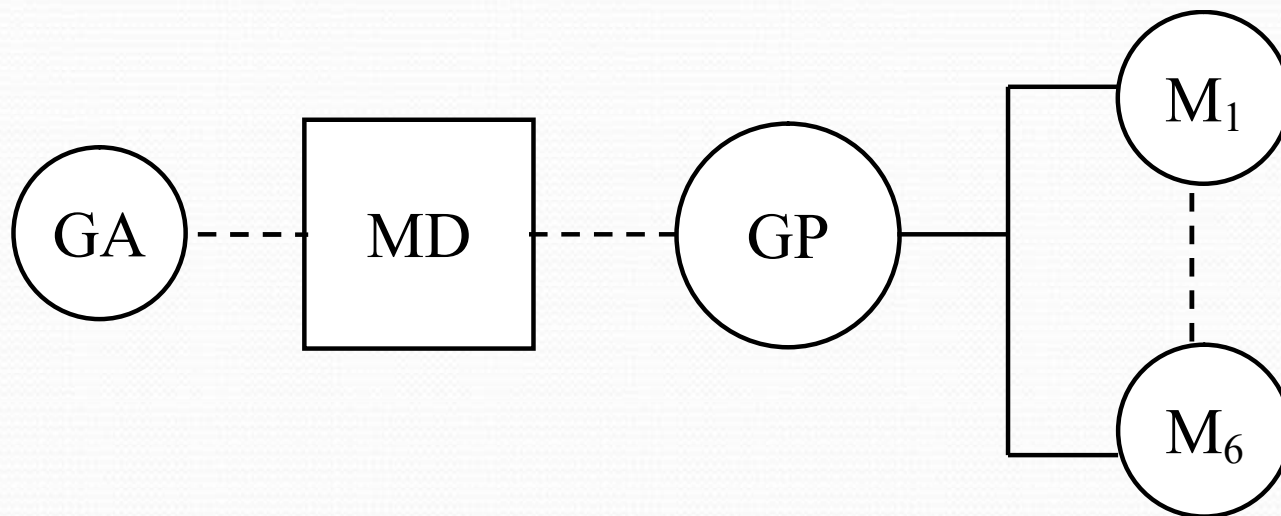
## Schema bloc a unei locomotive Diesel



### Dezavantaje:

- cutia de viteze are gabarit și masă foarte mari, comparabile cu cele ale motorului;
- transmisia mecanică la mai multe osii este dificilă, ceea ce limitează puterea;
- reglarea vitezei, automatizarea și optimizarea regimului de funcționare sau a consumului de combustibil sunt limitate;
- randamentul total este scăzut;
- cheltuielile de exploatare sunt ridicate.

## Schema bloc a locomotivelor Diesel-electrice



În aceste cazuri MD antrenează un generator auxiliar (GA) și un generator principal (GP) de c.c. sau c.a., care alimentează și reglează viteza motoarelor de tracțiune electrică (MTE) ale fiecărei osii – 6 la număr  $M_1 \div M_6$ , de regulă, grupate în 2 boghiuri cu câte 3 motoare .





## Locomotive Diesel-electrice de c.c.

### Elemente principale:

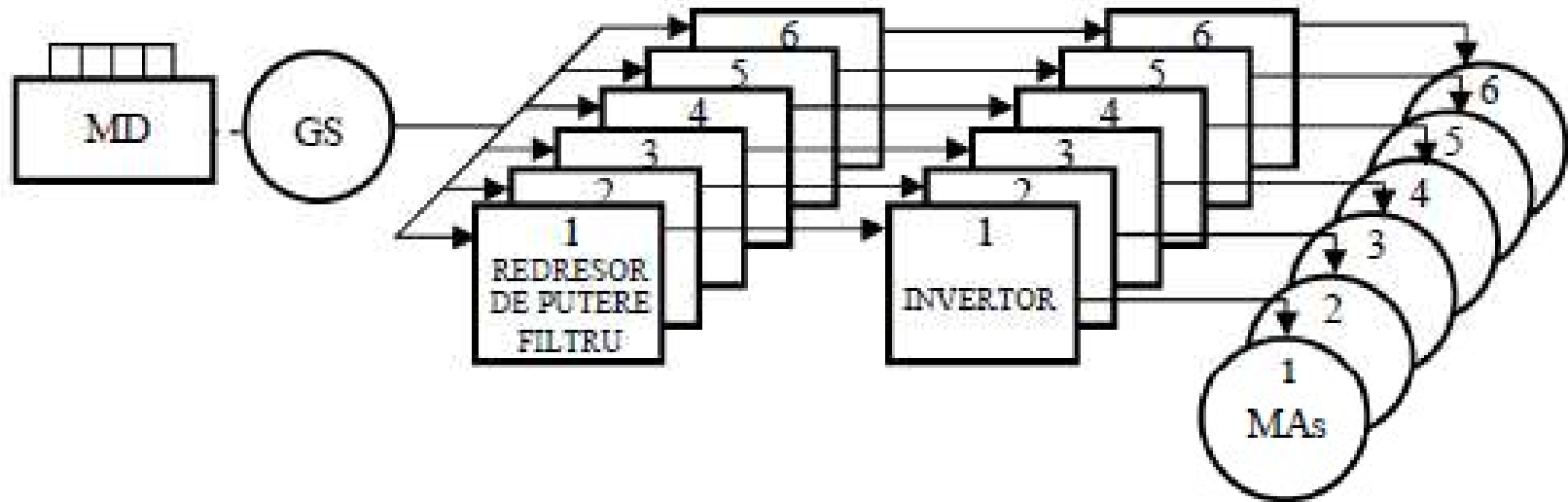
- un motor Diesel de o putere de 3000CP;
- un generator principal de c.c. de 2000kW, 460÷700V, 4300÷6600A, 850rot/minut și 8700kg;
- 6 motoare de tracțiune de c.c. de câte 305kW, 460÷700V, 460÷700A, 3100kg, care se conectează electric în paralel;
- un agregat de excitație constituit din 2 generatoare auxiliare,
- un agregat de frânare pneumatică cu compresor,
- un ventilator de răcire a generatorului principal;
- un ventilator de răcire a motoarelor de tracțiune de la roți;
- 2 reductoare de distribuție a energiei mecanice a MD








## Locomotive Diesel-electrice de c.a.



In generația a treia – a anilor 1995÷2005 – MTE de curent continuu au fost (sau vor fi) înlocuite cu motoare asincrone trifazate cu rotor în scurtcircuit, alimentate de la convertoarele statice de frecvență (CSF) cu redresoare necomandate și invertoare autonome de tensiune modulată PWM.

# SISTEME NEAUTONOME DE TRACȚIUNE FERROVIARĂ

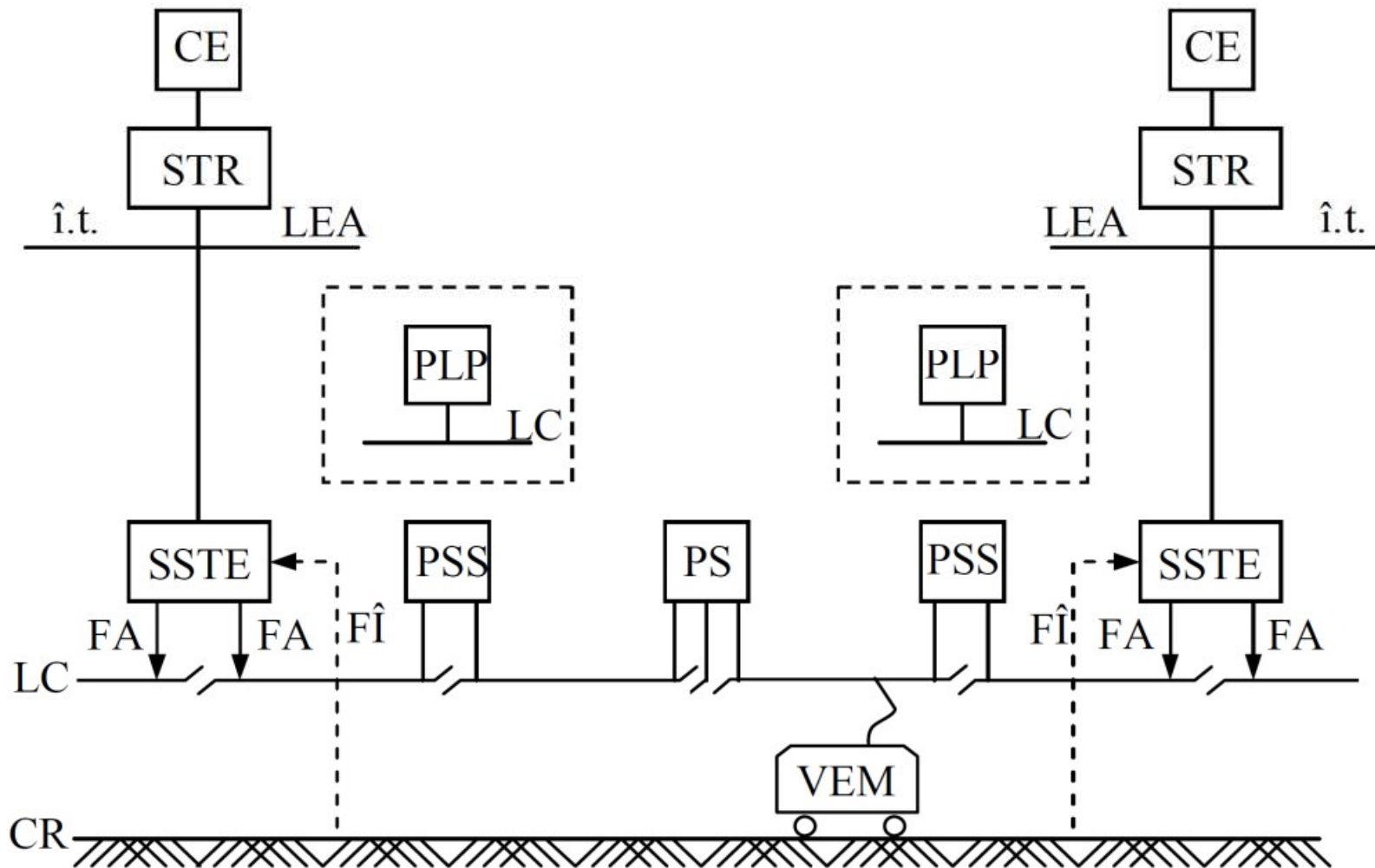




Sistemele de tracțiune electrică (STE) feroviară neautonome includ pe lângă locomotivele electrice și vagoanele anexate la ele, și o întreagă serie de instalații fixe:

- pentru producerea, transportul și distribuția energiei electrice, cum sunt: centralele electrice (CE), stațiile de transformare ridicătoare de tensiune (STR) și linii electrice aeriene (LEA) de distribuție în înaltă tensiune,
- substații de tracțiune electrică (SSTE);
- linia de contact (LC),
- calea de rulare (CR);
- fiderii de alimentare (FA), și de întoarcere;
- posturile de secționare (PS) și subsecționare (PSS),
- puncte de alimentare în paralel (PLP) a ramurilor LC;

# Schema de principiu a STE cu VEM feroviare neautonome





Alimentarea locomotivelor de la LC se execută în 2 variante principale:

- în curent continuu (c.c.) la diferite tensiuni (750V în Anglia, 1500V parțial în Franța și 3000V în majoritatea celorlalte țări);
- în curent alternativ (c.a.) monofazat la diferite tensiuni și frecvențe (15kV, 16,66Hz parțial în Germania, Elveția, Austria, Suedia și Norvegia; 11kV, 25Hz parțial în America și 25kV, 50 Hz în majoritatea țărilor).



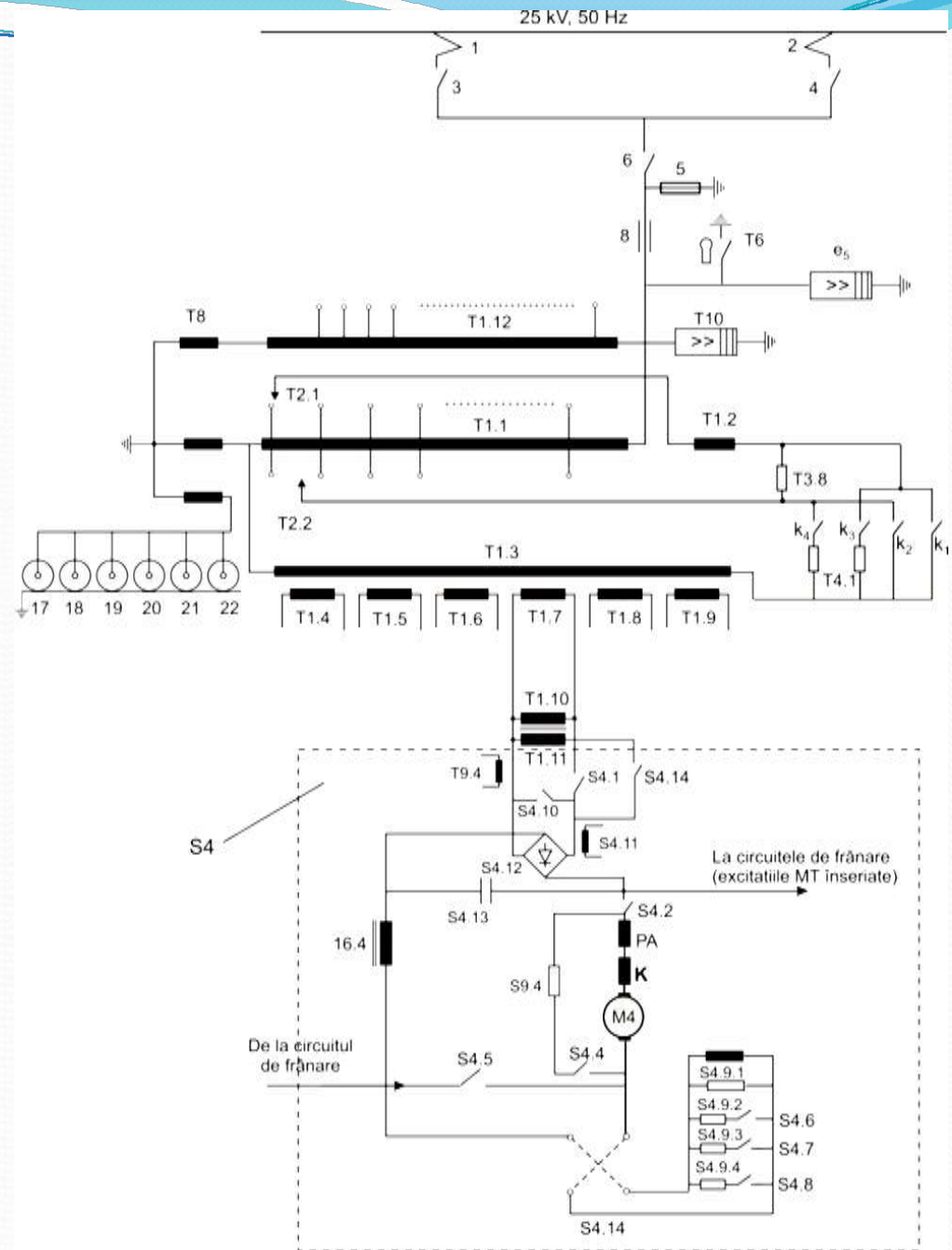
# Locomotive electrice cu acționări clasice nereglabile

Procedee de reglare în trepte a vitezei motoarelor de curent continuu cu excitație serie:

- reglarea reostatică la pornire prin conectarea motoarelor de tracțiune electrică în serie, incluzând și rezistențele de pornire
- reglarea la viteze medii prin cuplare serie-paralel a motoarelor: 2 grupe câte 3 motoare sau 3 grupe câte 2 motoare.
- reglarea la viteze mari prin micșorarea fluxului de excitație a motoarelor de tracțiune, șuntând înfășurările lor de excitație serie cu 2÷3 trepte de rezistențe.



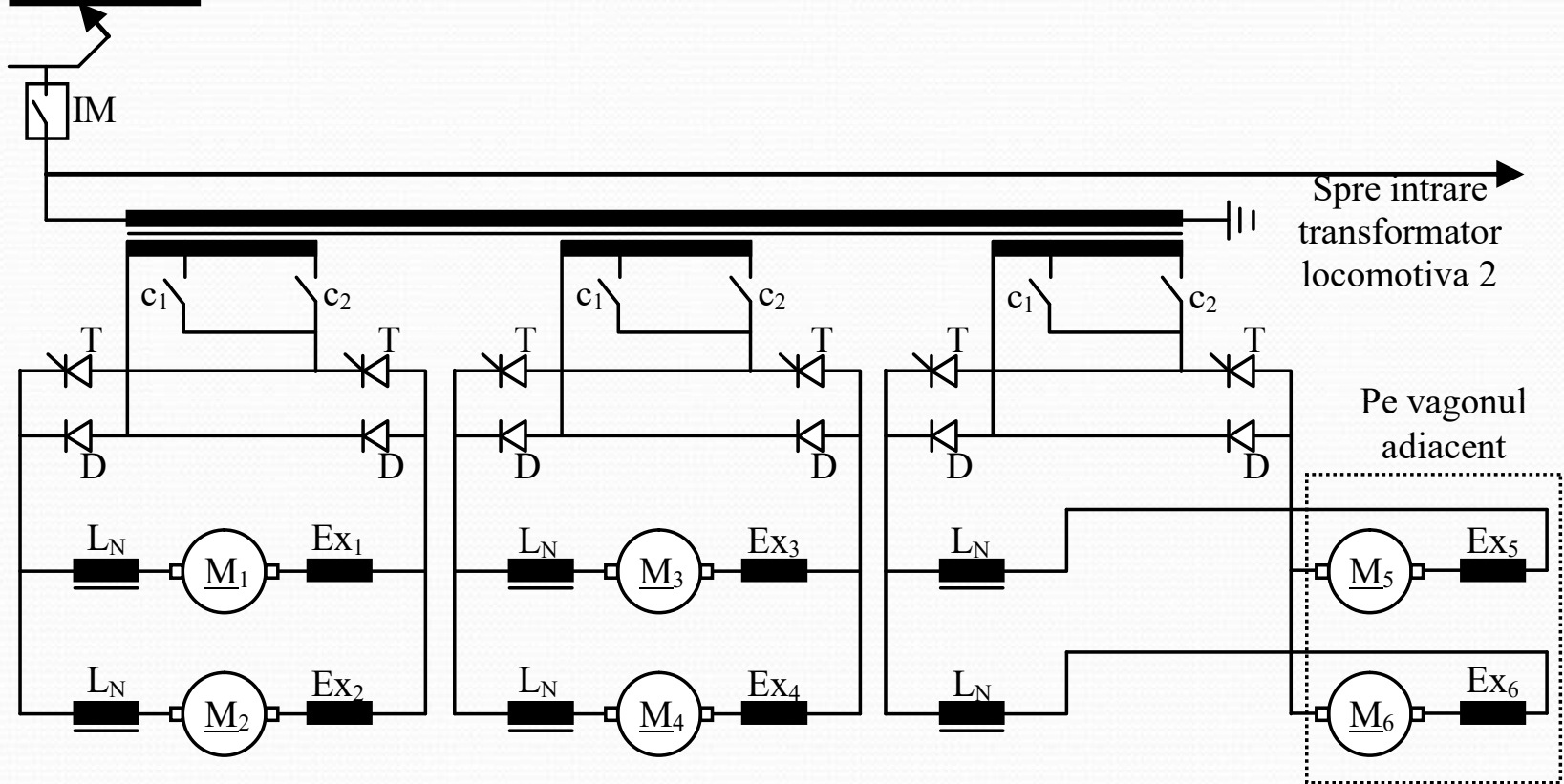
# Schema circuitului principal de pe LE o6o EA



## **Locomotive electrice cu acționări reglabile de curent continuu**

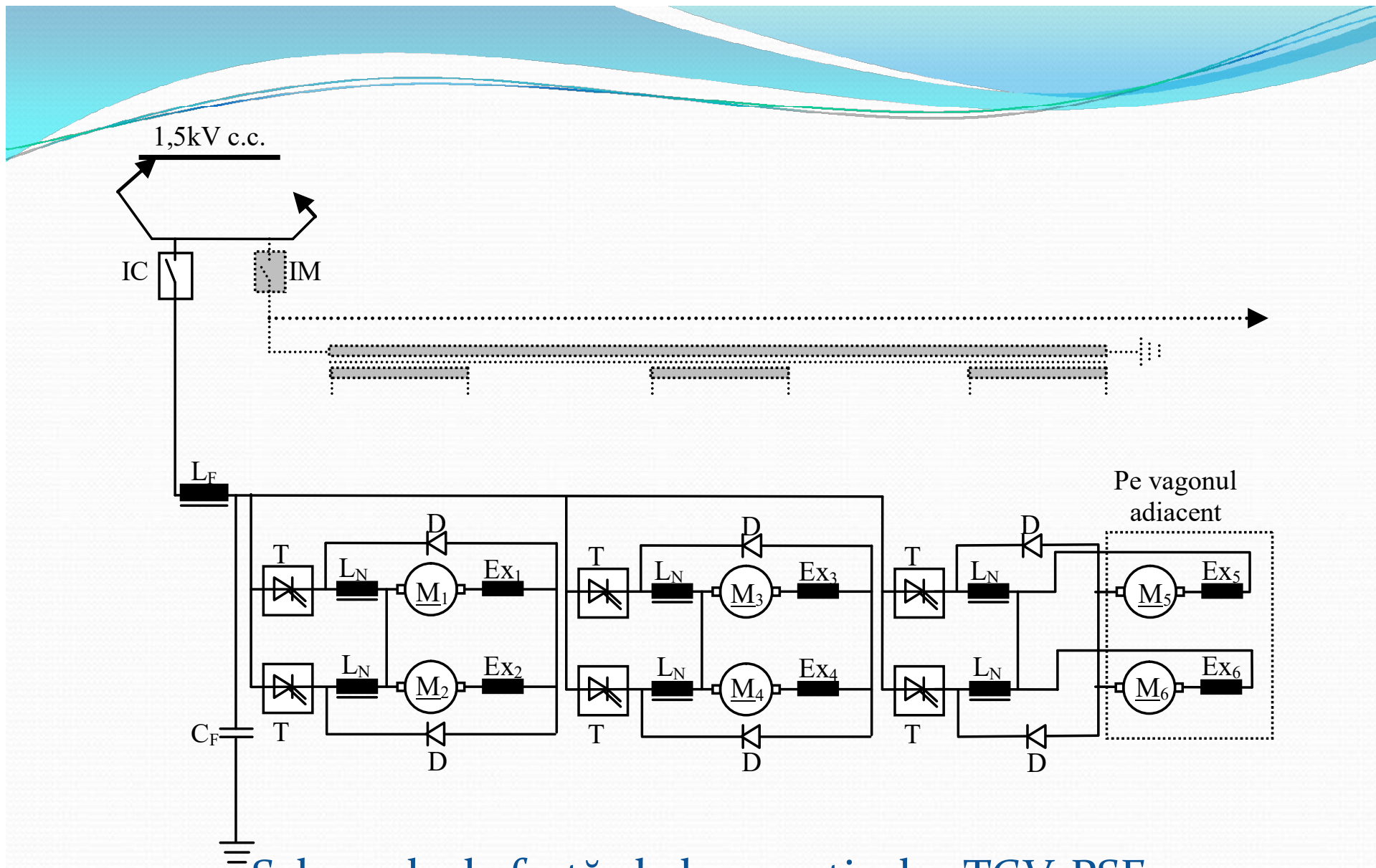
Generațiile următoare ale LE au avansat datorită realizărilor electronicii de putere și acționărilor electrice reglabile pe bază de convertoare electronice cu tiristoare. Clasele C2-A2, în anii 1970÷1980 au fost realizate cu aceleași MTE de curent continuu cu excitație serie. Reglarea fină a vitezei lor în cazul alimentării în c.c. (clasa C2) se efectua cu ajutorul variatoarelor de curent continuu (VCC) (chopperelor), iar în cazul alimentării în curent alternativ – cu ajutorul redresoarelor monofazate semicomandate (RSC) sau integral comandate (RIC).

25kV, 50Hz  
(15kV, 16 $\frac{2}{3}$ Hz)



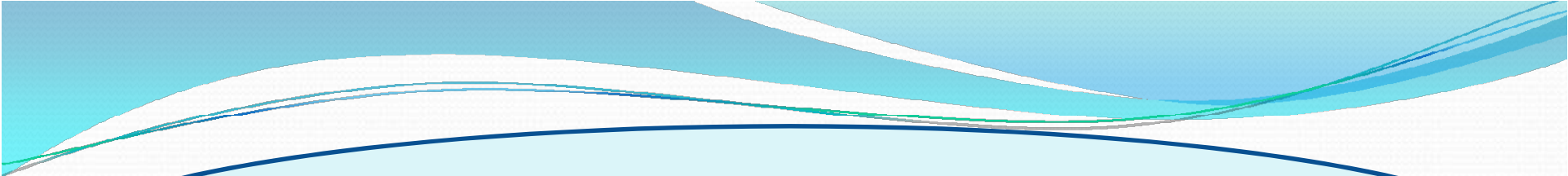
Schemele de forță ale locomotivelor TGV-PSE  
cu alimentare în curent alternativ





Schemele de forță ale locomotivelor TGV-PSE  
cu alimentare în curent continuu

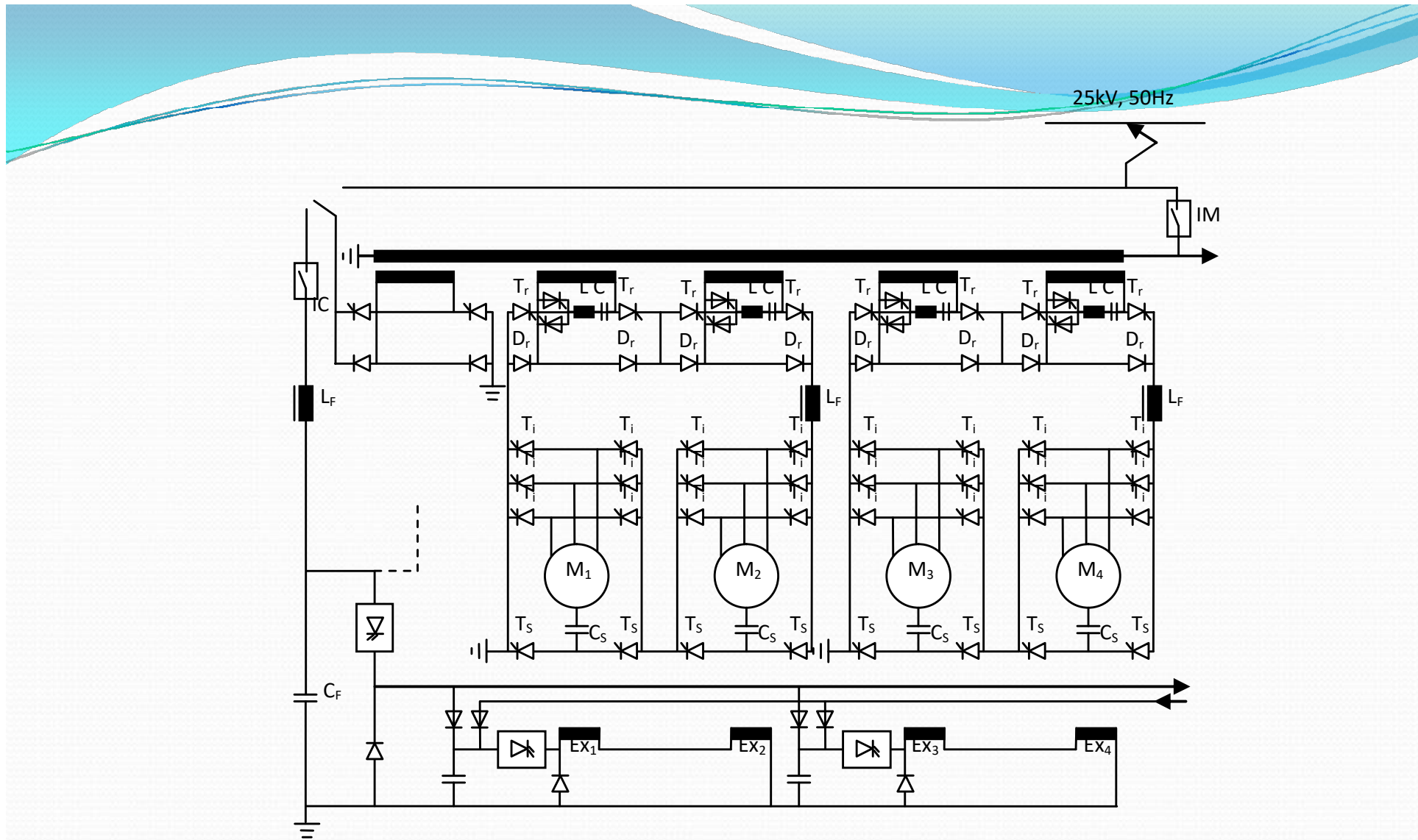




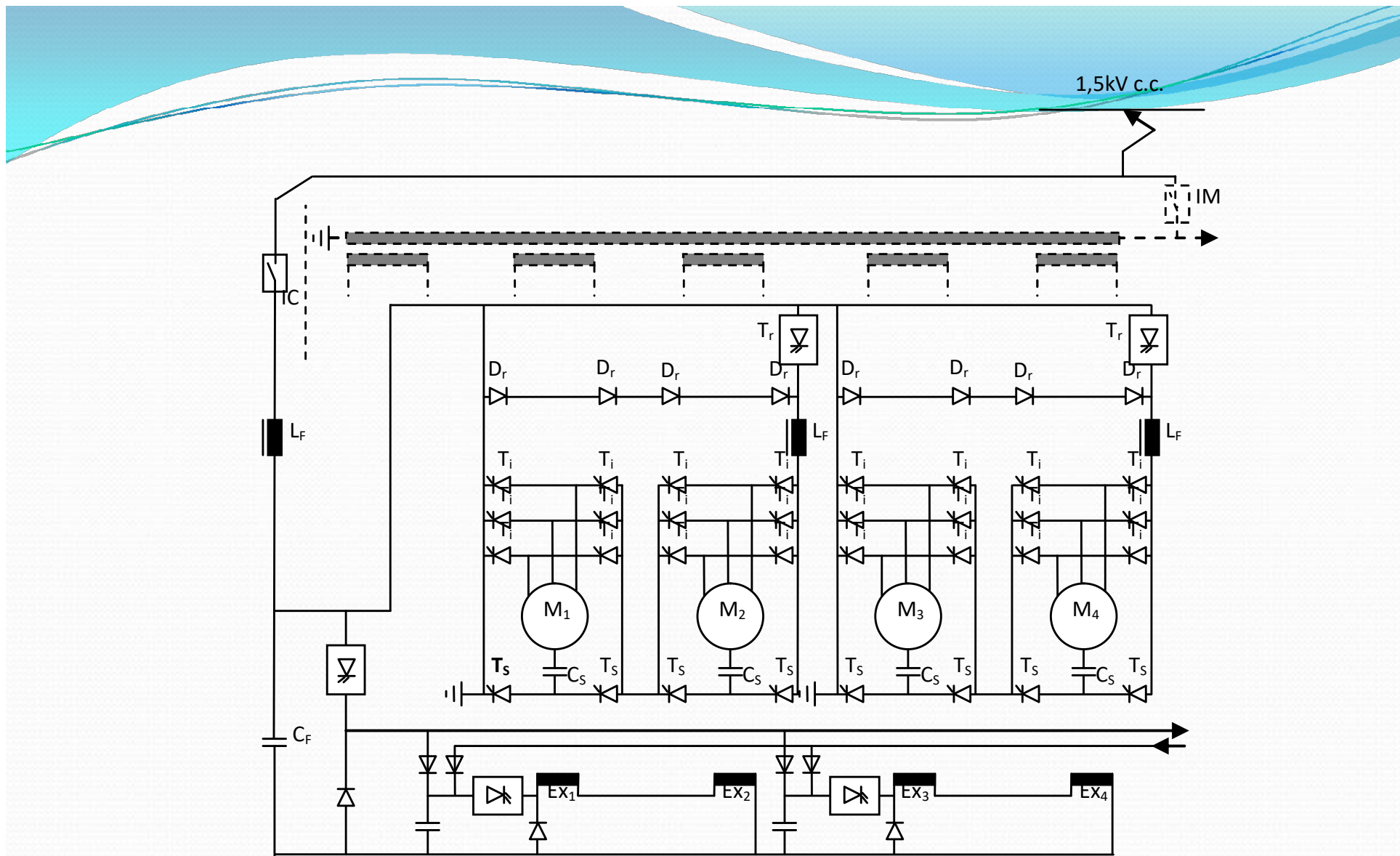
## **Locomotive electrice cu acționări reglabile sincrone**

Ținând cont de dezavantajele motoarelor de curent continuu și de viteza lor limitată, în anii 1980 a fost adoptată o nouă tendință de dezvoltare a acționărilor electrice reglabile prin trecerea la motoare de tracțiune de curent alternativ.

Reglarea lină și în plajă largă de valori ale vitezei acestor motoare a fost posibilă numai prin alimentarea lor de la convertoare statice de frecvență (CSF) cu invertoare autonome de curent (IAC) sau tensiune (IAT). Ele asigură o reglare comandată a amplitudinii și frecvenței tensiunii de ieșire într-un domeniu impus de tracțiunea electrică 0÷150Hz.

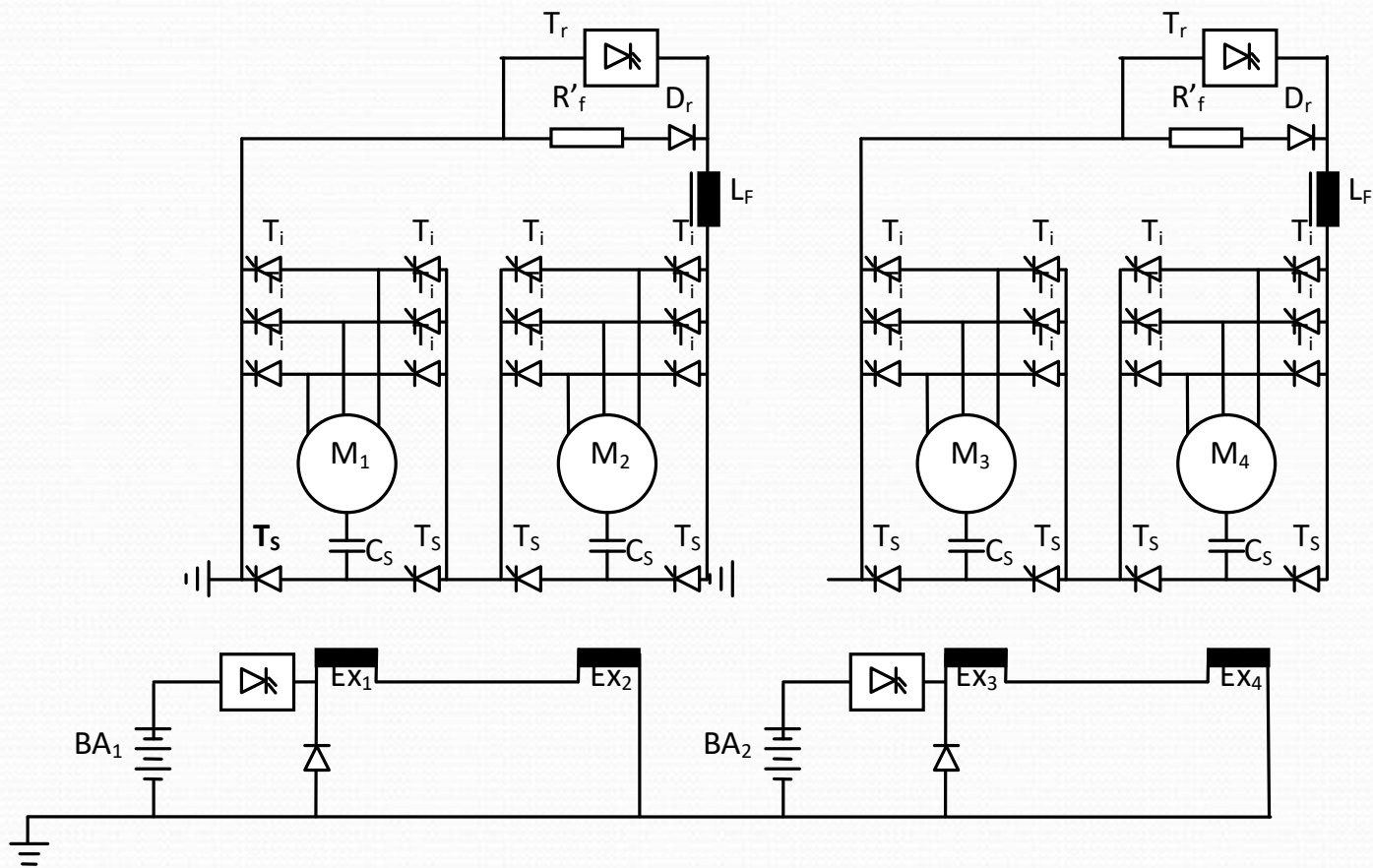


Schema de forță a locomotivelor TGV-A cu alimentare în c.a.



Schema de forță a locomotivelor TGV-A cu alimentare în c.c.



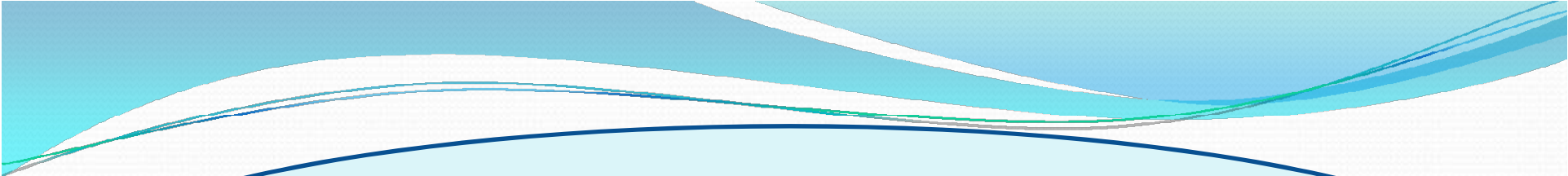


Schema de frânare reostatică  
a locomotivelor TGV-A





# SISTEME MODERNE DE TRACȚIUNE ELECTRICĂ FERROVIARĂ DE MARE VITEZĂ



## **Sisteme moderne de tracțiune electrică feroviară de mare viteză cu aderență la cale**

Modulația în frecvență înaltă a tensiunii de ieșire a invertoarelor autonome de tensiune (IAT) a rezolvat problema armonicilor superioare în curentul de alimentare a motoarelor asincrone, apropiindu-l foarte mult de forma sinusoidală – forma optimală pentru aceste motoare.

IAT cu comandă PWM au devenit în ultimii 10 ani un standard industrial performant pentru toate acționările electrice reglabile, inclusiv și pentru tracțiunea electrică feroviară.

## Locomotiva tip SINKANSEN 200

Epurator aer condiționat

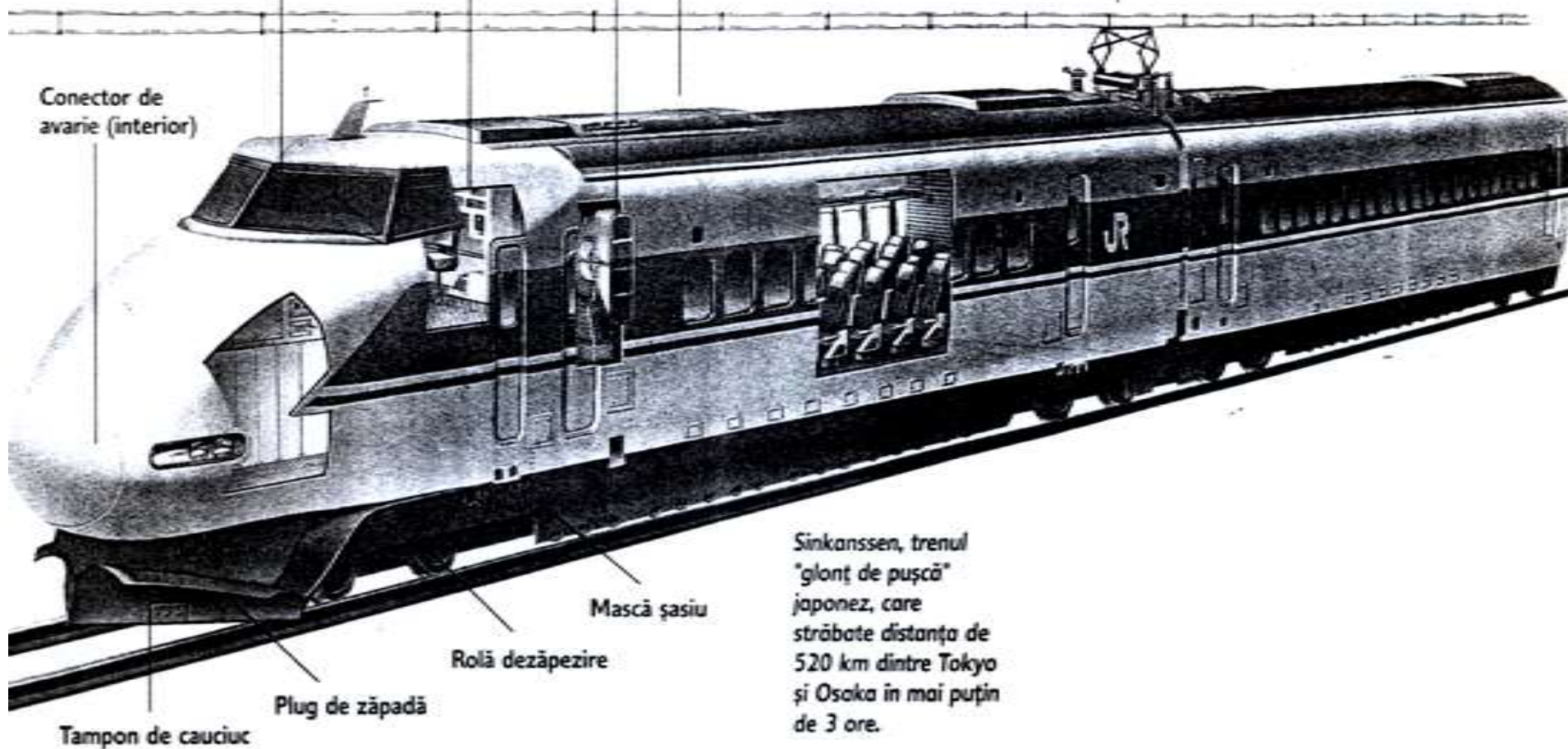
Conducător  
automat  
de tren

Generator aer condiționat

Pantograf cu eclise - colector de curent

Cabina conducătorului

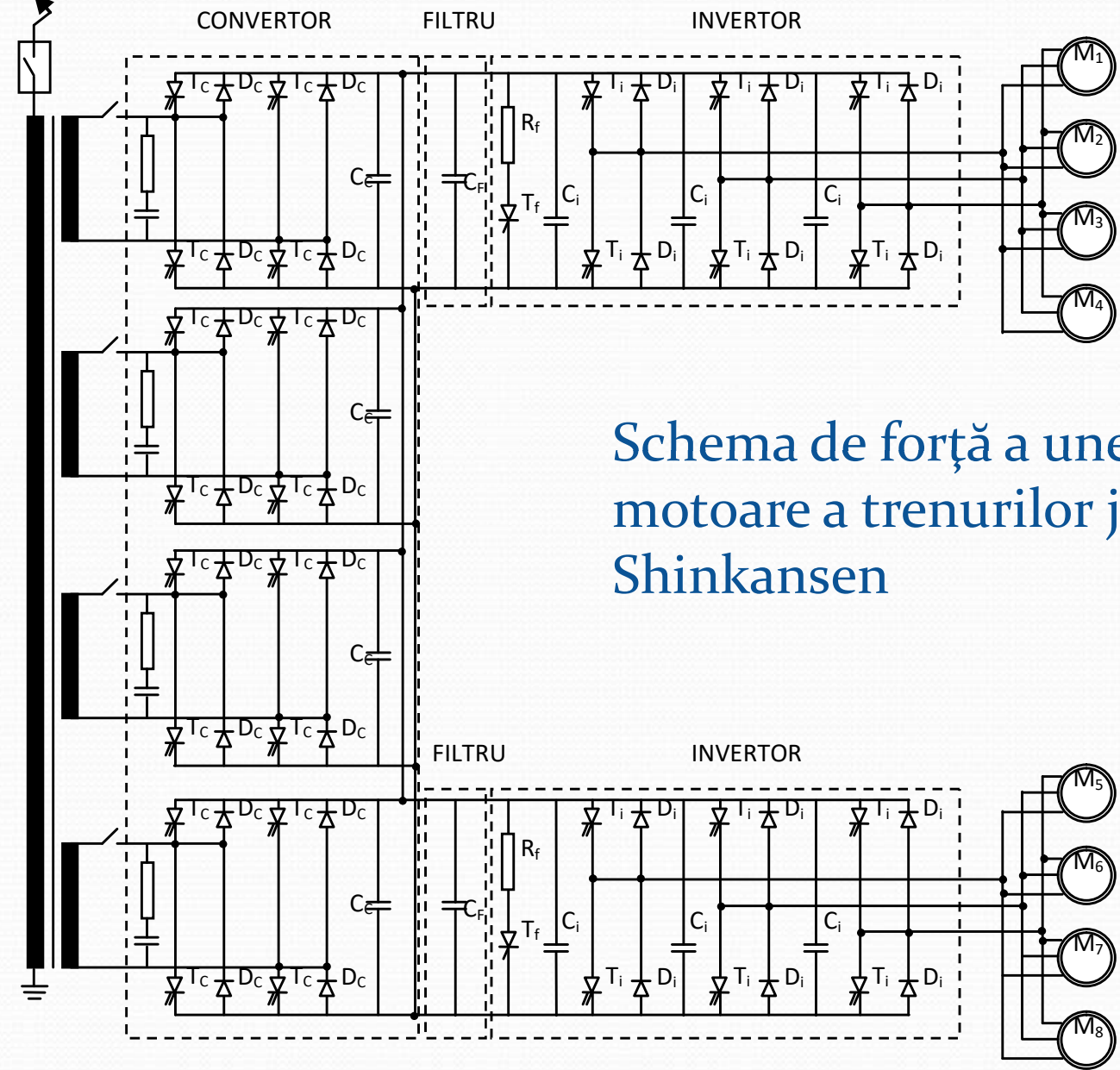
Conector de  
avarie (interior)



Sinkansen, trenul  
"glonț de pușcă"  
japonez, care  
străbate distanța de  
520 km dintre Tokyo  
și Osaka în mai puțin  
de 3 ore.



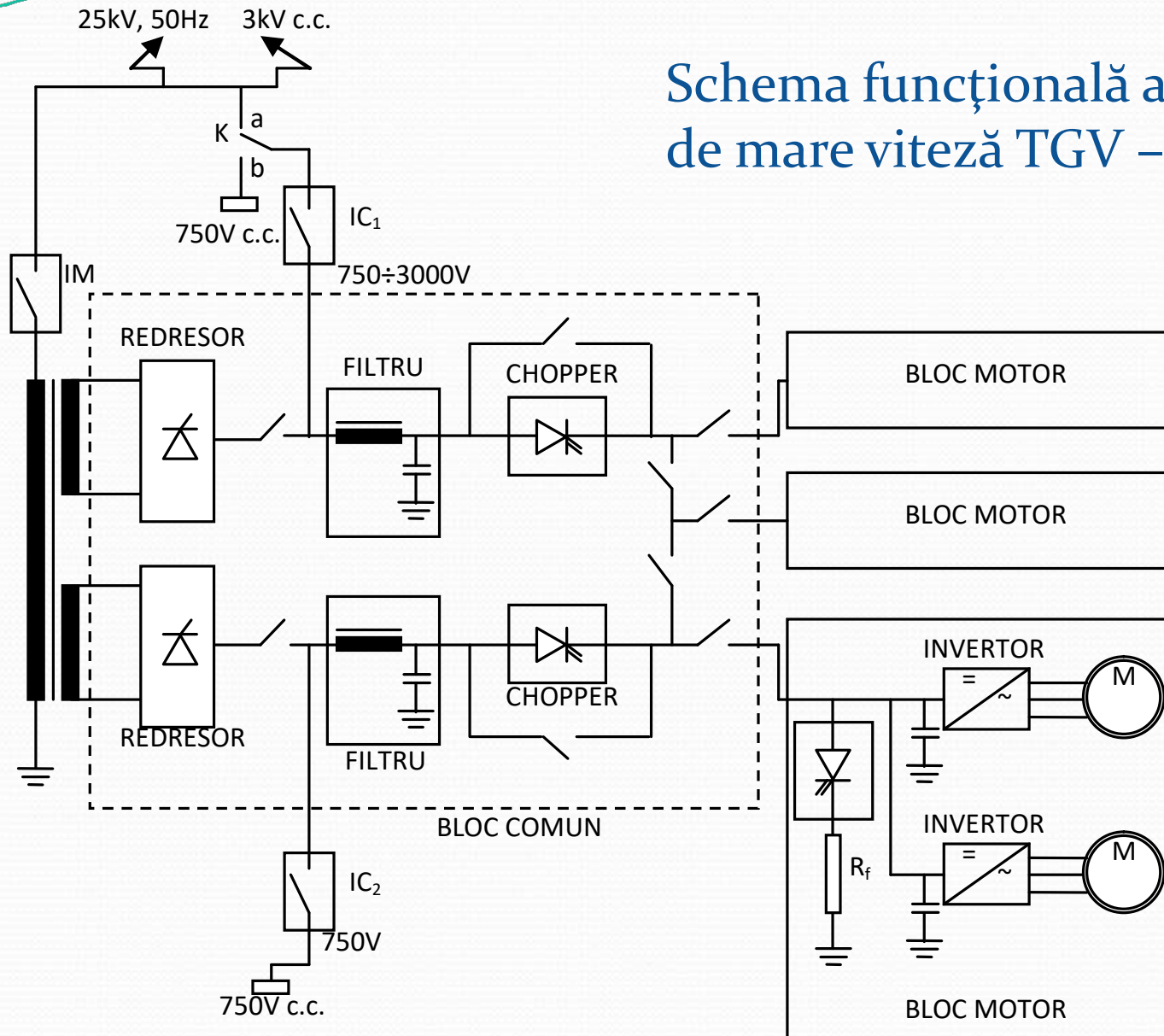
25kV, 50(60)Hz



Schema de forță a unei unități  
motoare a trenurilor japoneze  
Shinkansen



# Schema funcțională a trenurilor de mare viteză TGV – Eurostar





## **Trenuri de mare viteză cu pernă magnetică și fără aderență la cale**

Aceste trenuri neconvenționale sunt acționate cu motoare electrice liniare, la care aderența mecanică cu calea este înlocuită cu aderență electromagnetică, adică prin intermediul câmpului electromagnetic. Aceste motoare asigură o mișcare de translație a armăturii mobile, care în tracțiune constituie mișcarea de bază. Din motive tehnico-economice în tracțiunea electrică pot fi folosite numai motoarele liniare de curent alternativ-asincrone și sincrone.



## Avantaje:

- construcție foarte simplă a părții mecanice;
- gabarite și mase reduse la puteri specifice;
- asigură o siguranță și o fiabilitate înaltă datorită construcției;
- se exclude uzura și rezistențele mecanice de rostogolire, deoarece vehiculul zboară deasupra căii, ceea ce simplifică exploatarea și contribuie la micșorarea consumului de energie electrică.

## Dezavantajele motoarelor electrice liniare

- randamentul scăzut;
- cheltuieli ridicate pentru construcția căii de deplasare;
- complicații constructive și de exploatare determinate de menținerea întrefierului constant (nu mai mic de 10 mm)



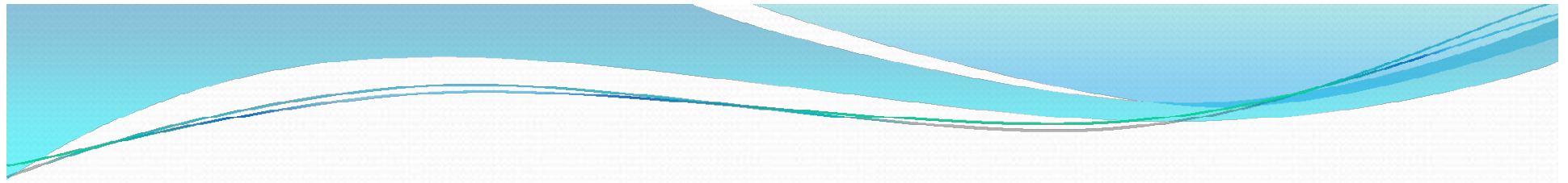


*Motoare electrice liniare utilizate  
in tractiunea electrica:*

*Motorul asincron liniar se poate obține prin desfășurarea în plan a celor 2 armături principale: a statorului, care în acest caz se mai numește primar sau inductor, și a rotorului, care se mai numește secundar sau indus.*

*Motorul sincron liniar de construcție inversată este superior celui asincron în ceea ce privește randamentul și factorul de putere, permițând totodată un întrefier mult mai mare. În plus, efectul longitudinal (de capăt) are o influență mai mică asupra parametrilor principali.*





O altă problemă importantă a trenurilor cu motoare liniare o reprezintă sustentația – funcția de menținere la o valoare constantă a distanței (întrefierului) dintre armăturile primarului și secundarului, pentru ca trenul să poată „zbura” deasupra căii.

Această funcție la vehiculele rapide se realizează cu ajutorul pernei magnetice, care poate fi de 2 tipuri:

- cu atracție electromagnetică clasică;
- cu repulsie (respingere) electrodinamică (în timpul mersului);



Imaginea trenului german cu pernă magnetică Transrapid TR08



Vedere asupra părții dedesubt a căii trenului MAGLEV

# SISTEME DE TRACȚIUNE ELECTRICĂ URBANĂ





## Noțiuni generale

Transportul electric urban și suburban, datorită avantajelor sale de a nu polua mediul ambiant și de a asigura o capacitate relativ mare de transportare a călătorilor, constituie principalul sistem de transport pentru orașele mari și mijlocii.

Acest transport poate fi însă cu cale de rulare diferită: ghidată (cale ferată) cu roți metalice – la tramvaie și metrouri și neghidată (carosabil) la troleibuze și autobuze electrice cu roți pneumatice, precum și cu linie de contact și alimentare diferită.

Troleibuzele nu necesită o cale specială de rulare, nu îngreunează circulația celorlalte mijloace de transport, asigură o siguranță a îmbarcării pasagerilor prin apropierea nemijlocită de trotuar, nu produc zgomot mare.





Față de troleibuze, tramvaiele necesită un consum de energie electrică mai redus, precum și cheltuieli de exploatare mai mici.

Eficacitatea înaltă a tramvaielor este datorată capacității mare de transportare a pasagerilor.

Având o cale de rulare separată, tramvaiele asigură o securitate relativ ridicată a călătorilor.



Cea mai mare capacitate de transportare o are însă metroul: de 2÷3 ori mai mare decât la tramvaie, însă metroul necesită investiții de capital mult mai mari, de aceea se acceptă în orașe cu populație de peste un milion de locuitori.

Șinele căii ferate la tramvaie și metrouri simplifică linia de contact, deoarece ele îndeplinesc funcția de conductor de întoarcere a curentului de tracțiune.

Metroul asigură totodată și viteze mai mari de deplasare, precum și o siguranță mai mare.







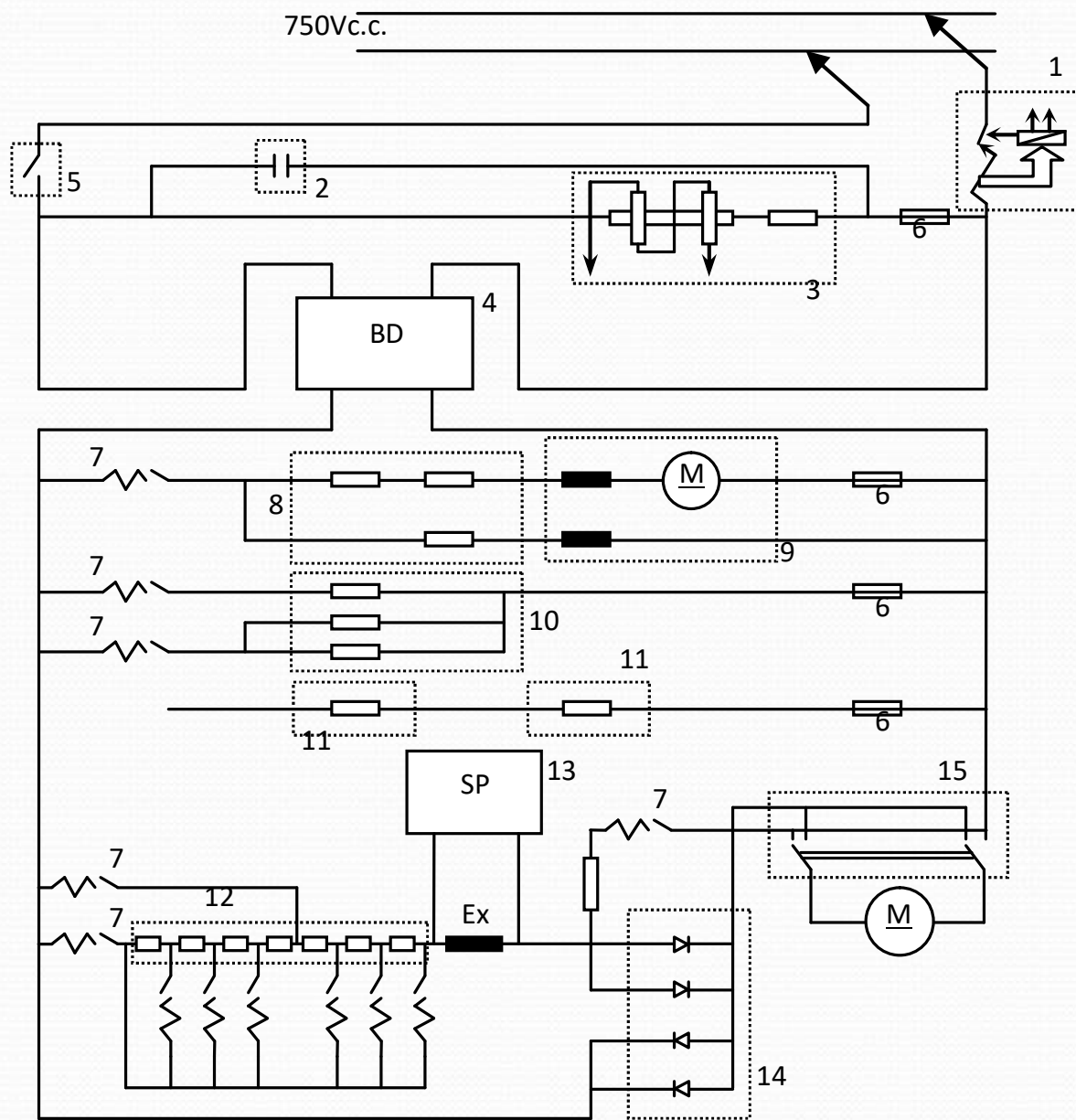
## **Scheme tipice de comandă și reglaj pentru troleibuze**

Sistemele de tracțiune electrică urbană au parcurs aproximativ aceeași evoluție, ca și cele feroviare. Inițial, troleibuzele, tramvaiele și metrourele au fost acționate de MCC cu excitație serie și reglaj reostatic al vitezei.

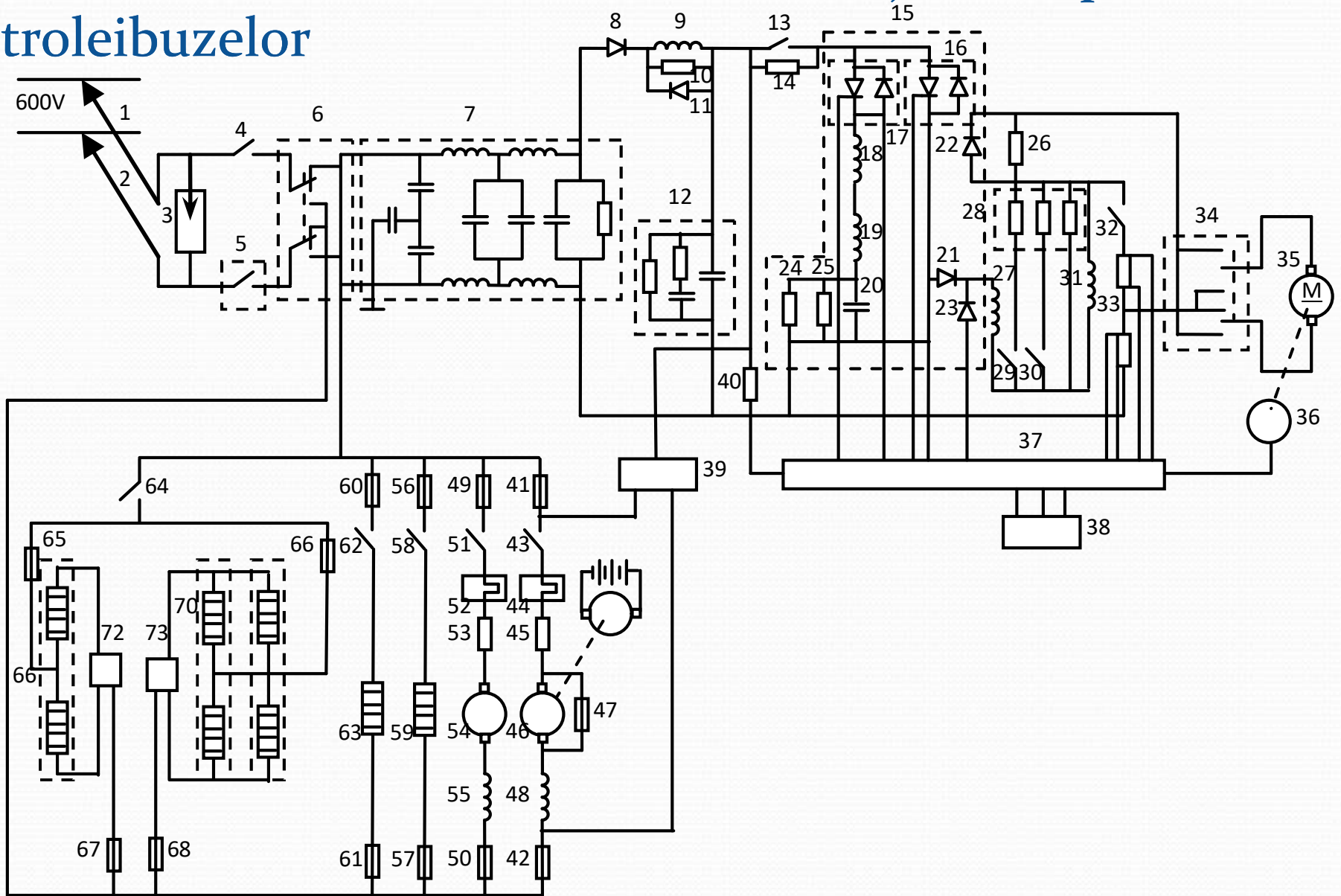
În generația a 2-a reglajul reostatic a fost înlocuit cu reglaj electronic prin variatoare de curenți continuu (choppere), mai întâi cu tiristoare obișnuite (anii 1980÷1990), iar apoi cu tiristoare GTO și tranzistoare (anii 2000).

În generația modernă MCC sunt înlocuite cu motoare asincrone, alimentate de la un invertor autonom de tensiune.

# Troleibuz echipat cu MCC serie alimentate direct de la LC de c.c.



# Scheme de comandă cu tiristoare obișnuite tipice troleibuzelor

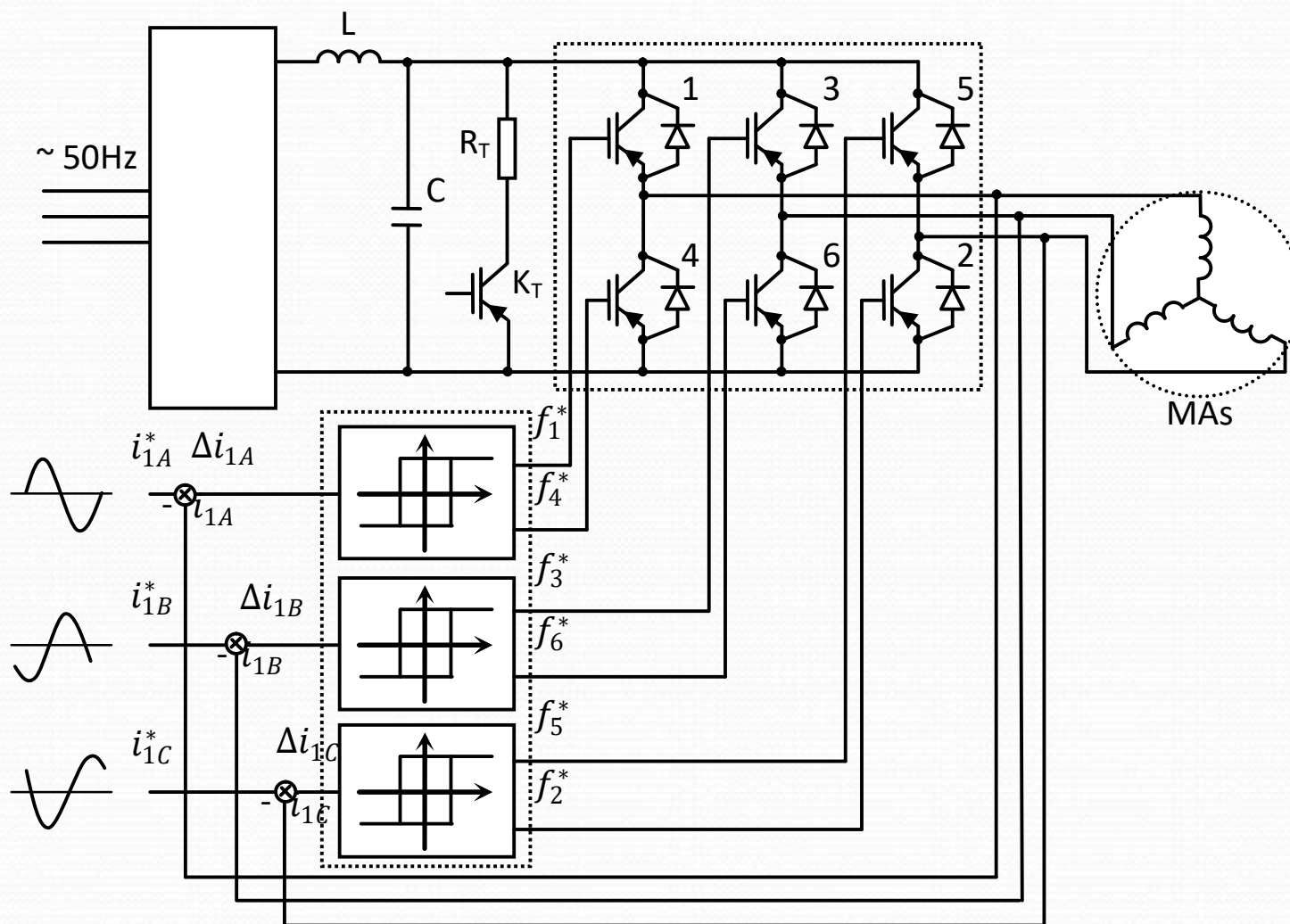








# Troleibuze ultramoderne cu motoare asincrone alimentate de la invertoare autonome cu frecvență variabilă



# Principii și variante de tramvaie și metrouri clasice și moderne

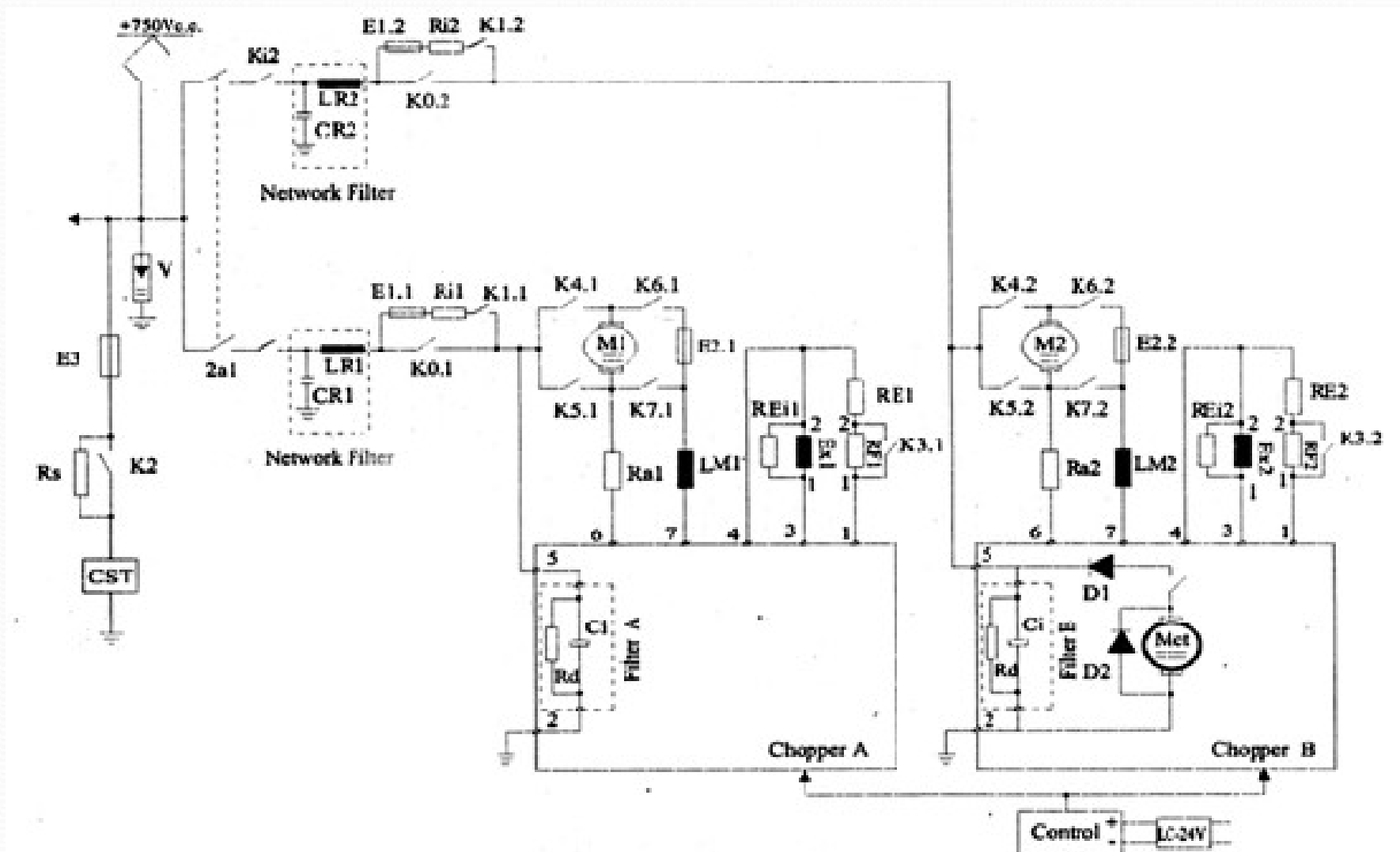


## Tramvaie clasice

Tramvaiele și metrourele, ca mijloace urbane de transport pe căi ferate, la fel ca și troleibuzele, au istoria lor de dezvoltare.

Majoritatea tipurile de tramvaie clasice sunt echipate cu 4 motoare de curent continuu de 50kW, alimentate de la choppere cu tiristoare. Din aceeași clasă fac parte și tramvaiele românești Timiș 2A

# Scheme de forță ale tramvaiului românesc Timiș 2





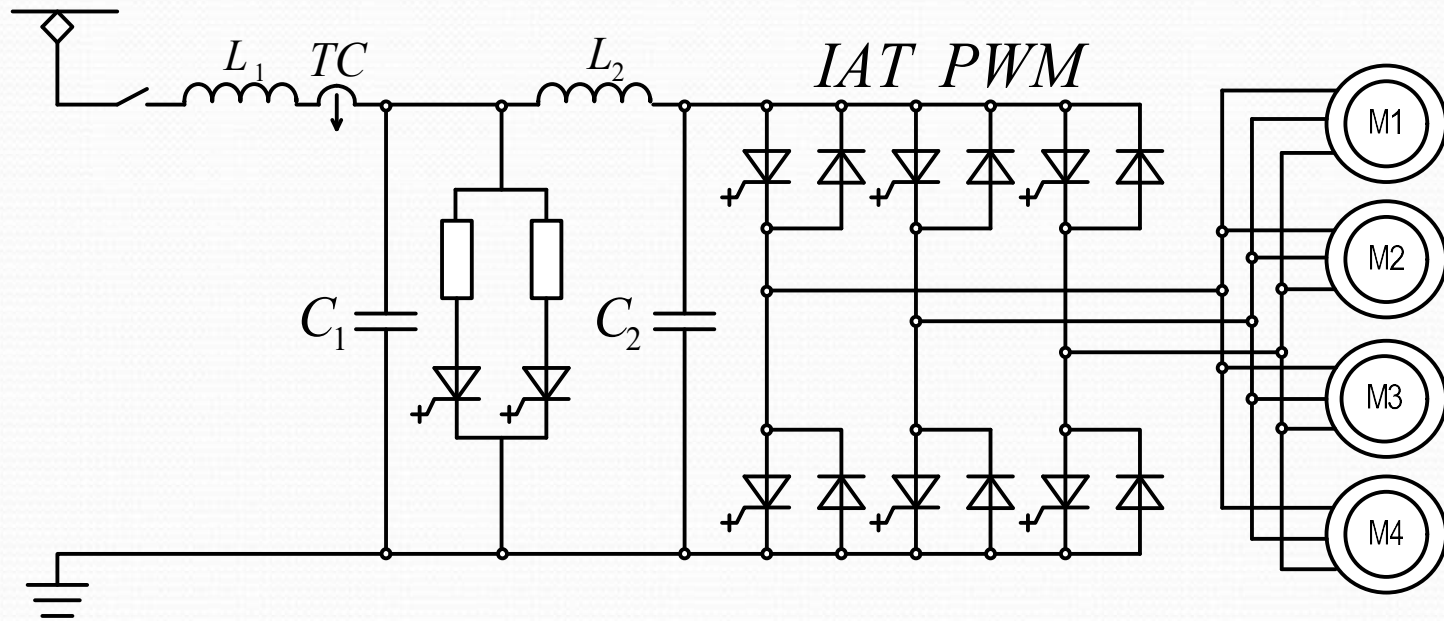


## Tramvaie ultramoderne cu motoare asincrone și invertoare de frecvență variabilă

În tramvaiele și metrourele moderne occidentale motoarele de curent continuu au fost înlocuite cu motoare asincrone în scurtcircuit, iar chopperele - cu invertoare autonome de tensiune modulată în frecvență înaltă (PWM) și cu tranzistoare IGBT sau tiristoare GTO.

Comanda acestui vagon este asigurată de 2 microprocesoare dintre care unul este prevăzut pentru reglarea vectorială a motoarelor asincrone, iar altul - pentru automatizarea lui.

# Schema de forță a unui vagon de tramvai cu tiristoare GTO și motoare asincrone



Prima generație modernă de tramvaie cu 3 sau 4 secții articulate GT6N și GT8N a apărut în 1990. Lungimile totale ale acestor variante sunt: 26m și 36m, iar numărul de scaune – 46 și 85. Fiecare boghiu are motorul său de 100kW, ca urmare puterea totală este de 3x100kW sau 4x100kW la o tensiune de 600V.

Variantele ultimei generații ultramoderne a tramvaielor germane sunt denumite 2000 și 2005 prevad deja o deplasare liberă a pasagerilor între secții. Aceste variante au o lungime de 26m și 48m, un număr de 63, respectiv 126 locuri și o acționare electrică cu 4x100W sau 8x100kW la o tensiune de 600V.

O variantă originală de tramvai a fost elaborată în orașul Nancy din Franța. Acest tramvai este prevăzut cu roți pneumatice ca la troleibuz.



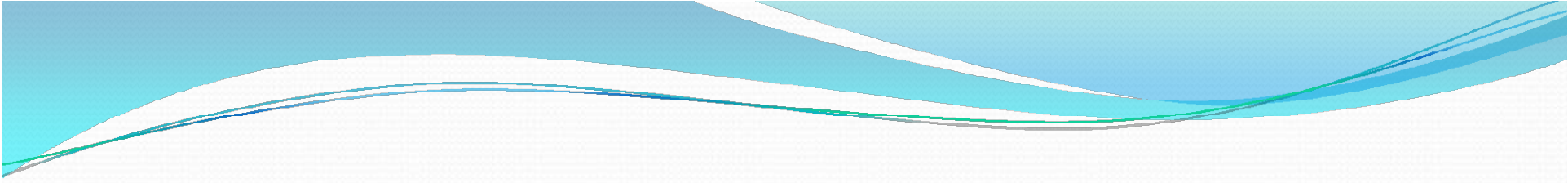


## Particularități ale metrourilor moderne

O ramă de metrou este alcătuită, de obicei, din 4÷7 vagoane – motoare de 2 tipuri: cu cabină de comandă – la capete și fără cabină de comandă – intermediare.

Fiecare vagon este înzestrat cu 4 motoare de tracțiune de o putere mai mare ca la tramvai, deoarece metroul are de ridicat deseori rampe relativ mari și trebuie să asigure accelerații cu valori peste  $1,2\div 1,3 \text{ m/s}^2$ , chiar în condițiile antrenării unor momente mari de inerție. Aceste momente impun, la rândul lor, necesitatea realizării frânării recuperative.

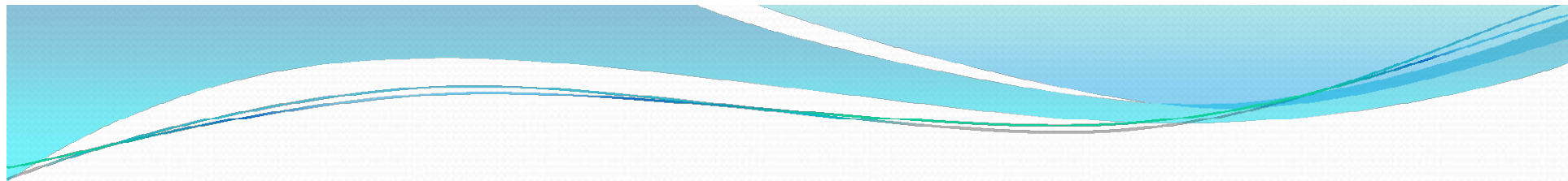




În țările occidentale, în momentul de față, vagoanele de metrou sunt acționate de motoare asincrone reglabile în frecvență, iar în țările est-europene introducerea acestora este doar într-o fază incipientă, în exploatare aflându-se o majoritate covârșitoare de vagoane cu motoare de curent continuu, reglate cu choppere.

Vagoanele moderne „RUSICI” din Moscova sunt echipate cu 4 motoare asincrone de 160kW, alimentate de la convertitoare de frecvență, deoarece lungimea și capacitatea lor este mai mare – 27m și 54/372 de călători. Astfel de rame sunt utilizate și la metroul din Sofia (Bulgaria).





Una din problemele metroului din Moscova și din alte orașe din spațiul post sovietic este zgomotul puternic al roților metalice în timpul mersului și scârțâitul puternic al frânelor vagoanelor în timpul frânării lor, mai ales al frânelor mecanice înainte de oprire. Acest zgomot și scârțâit se simte puternic și din cauza ecoului, care se propagă în spațiul închis al tunelurilor și stațiilor subterane. La liniile și stațiile în aer liber de la periferia orașului același zgomot pare mult mai slab, deoarece în acest caz lipsește efectul amplificator al ecoului.



Metroul din Paris a rezolvat problema zgomotului, înlocuind roțile metalice ale vagoanelor cu roți pneumatice. Acestea din urmă mai rezolvă concomitent încă o problemă - măresc aderența dintre calea ferată și roți, ceea ce conduce la o creștere a forței de tracțiune și a vitezei vagoanelor.







# Autovehicule electrice hibride

Concept

Configurații

Vehicule electrice hibride de tip serie

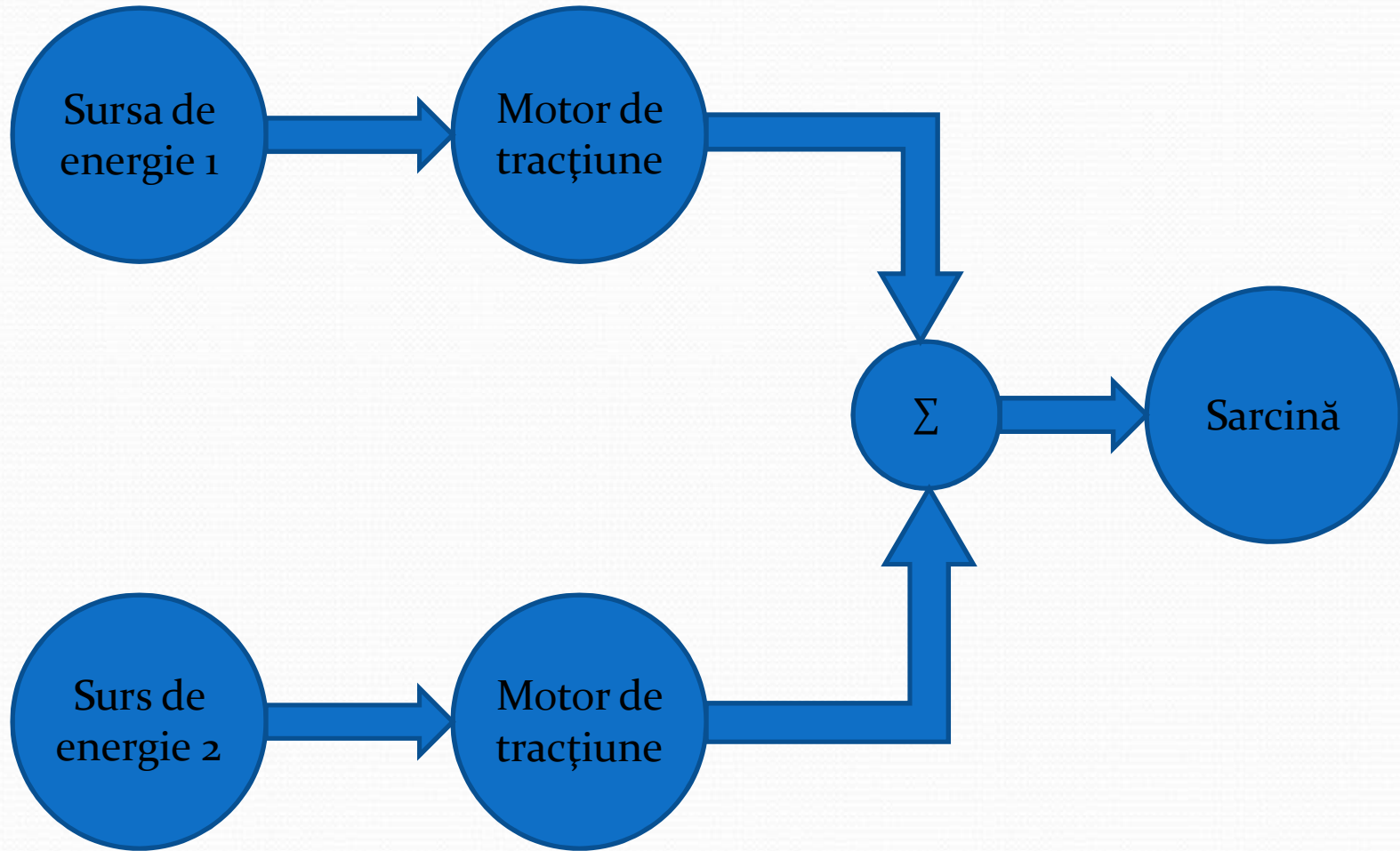
Vehicule electrice hibride de tip paralel

Vehicule electrice hibride cu partajarea cuplului

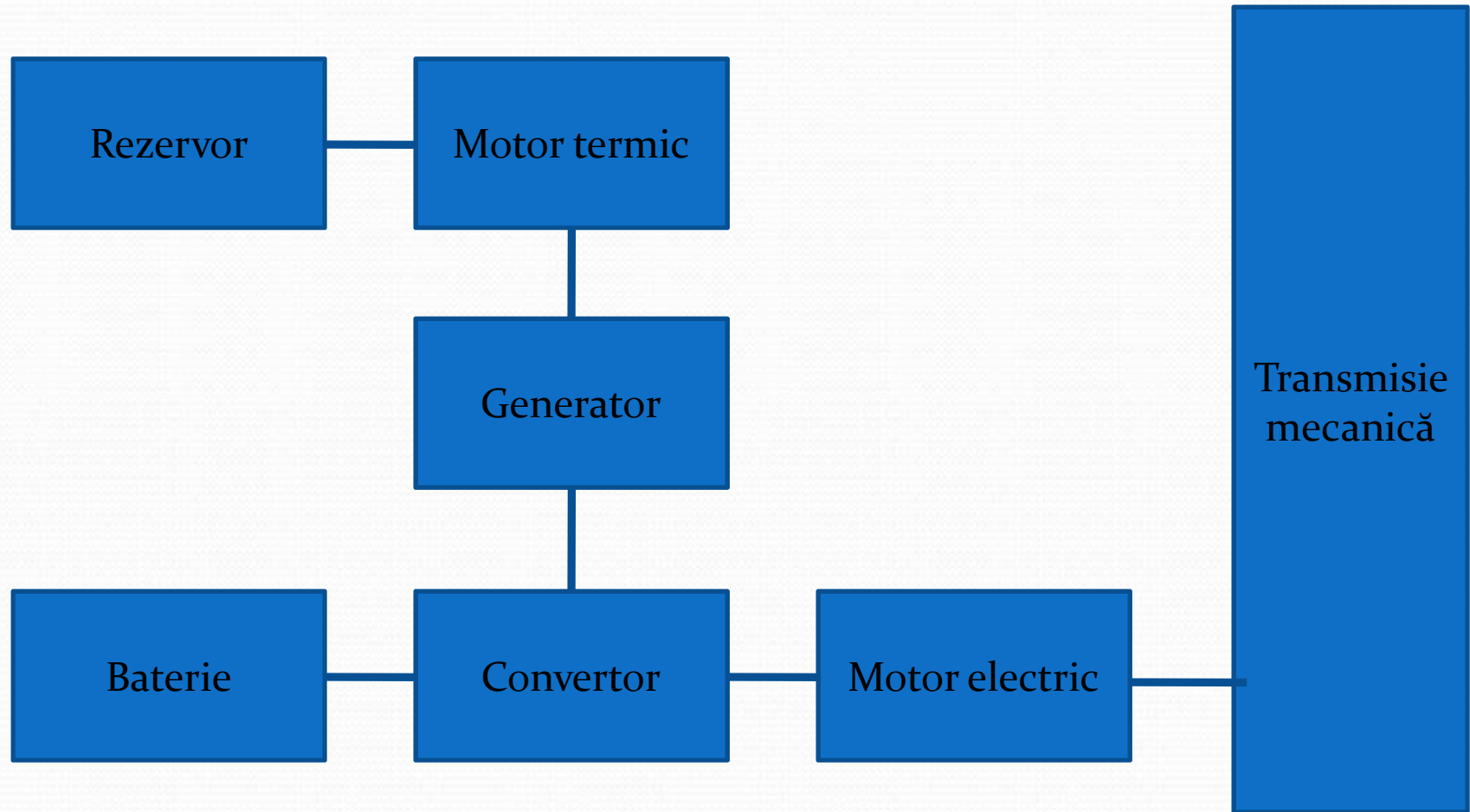
Vehicule electrice hibride cu partajarea turației

Vehicule electrice hibride cu partajarea cuplului și turației

# Concept



# Configurații



Hibrid serie

Rezervor

Motor termic

Transmisie  
mecanică

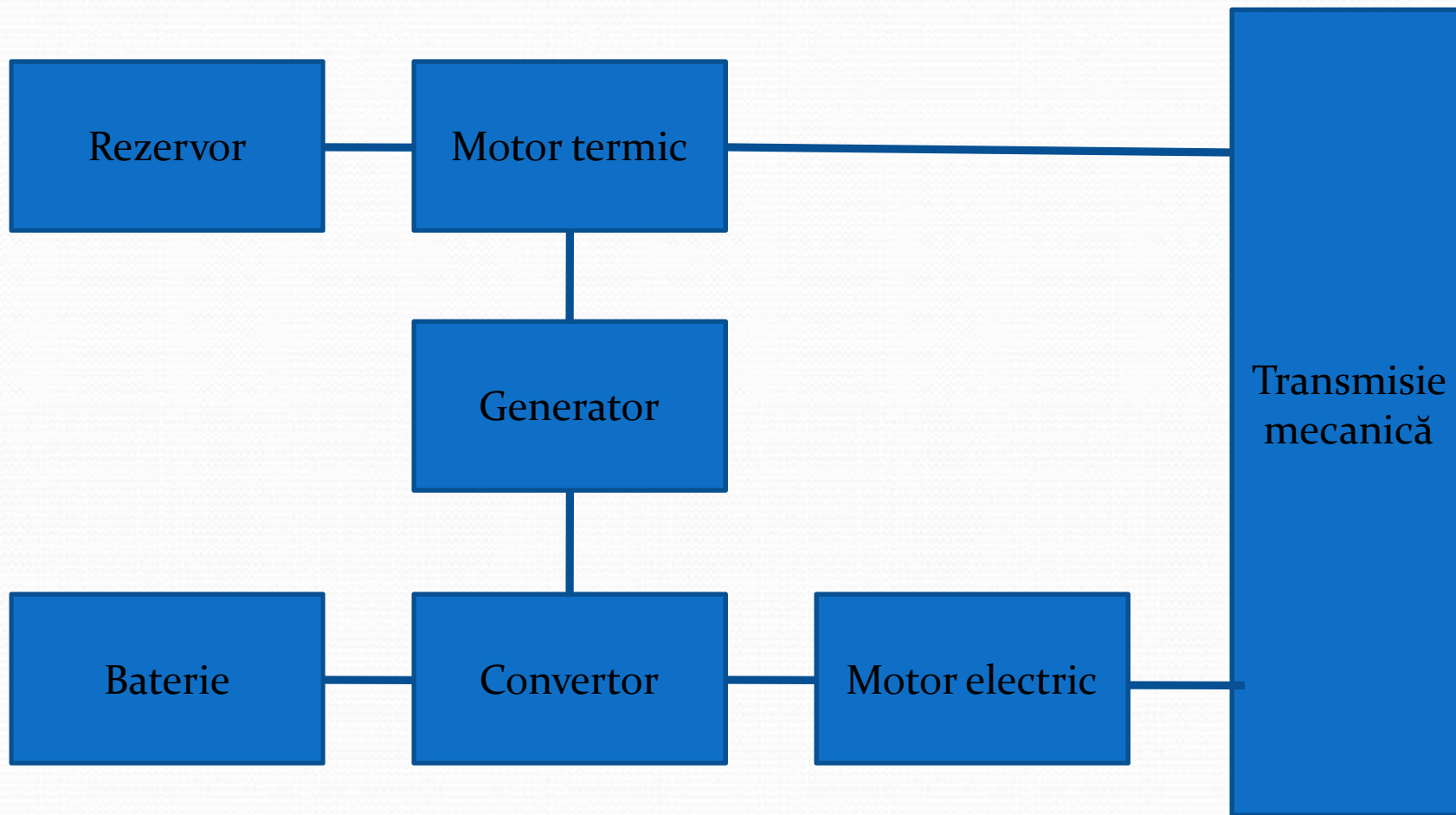
Baterie

Convertor

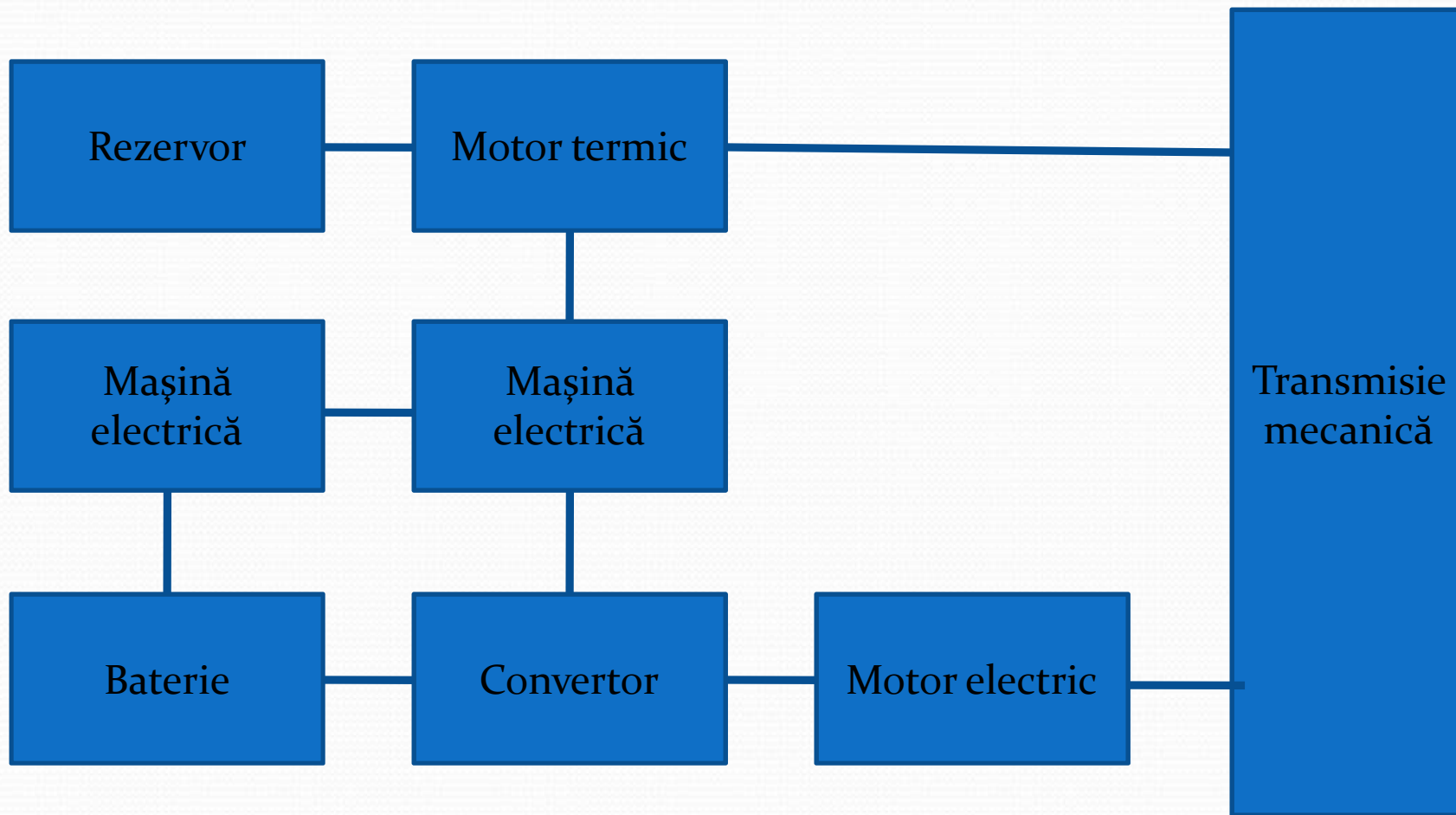
Motor electric

Hibrid paralel



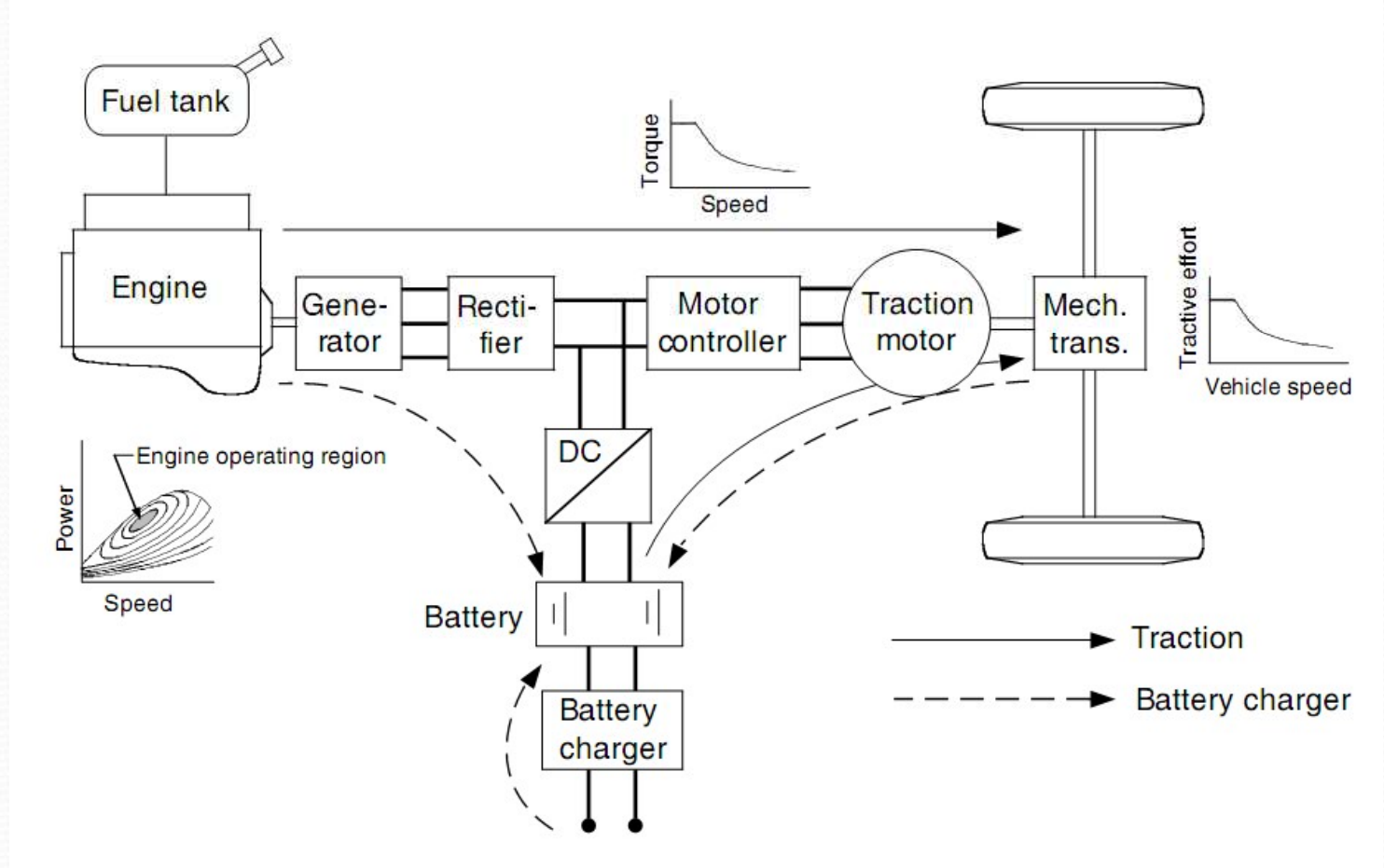


Hibrid serie-paralel

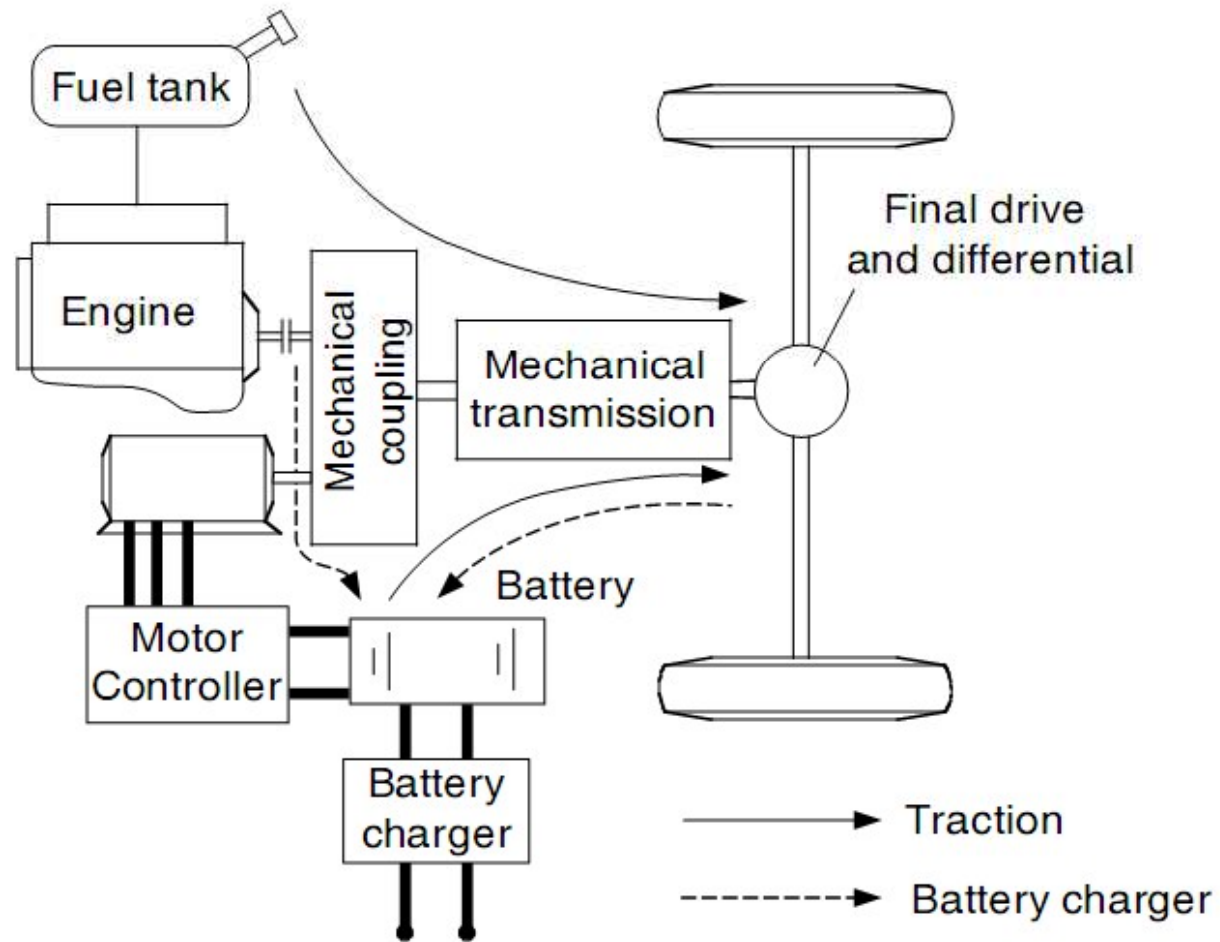


Hibrid mixt

# Vehicle electric hibrid de tip serie

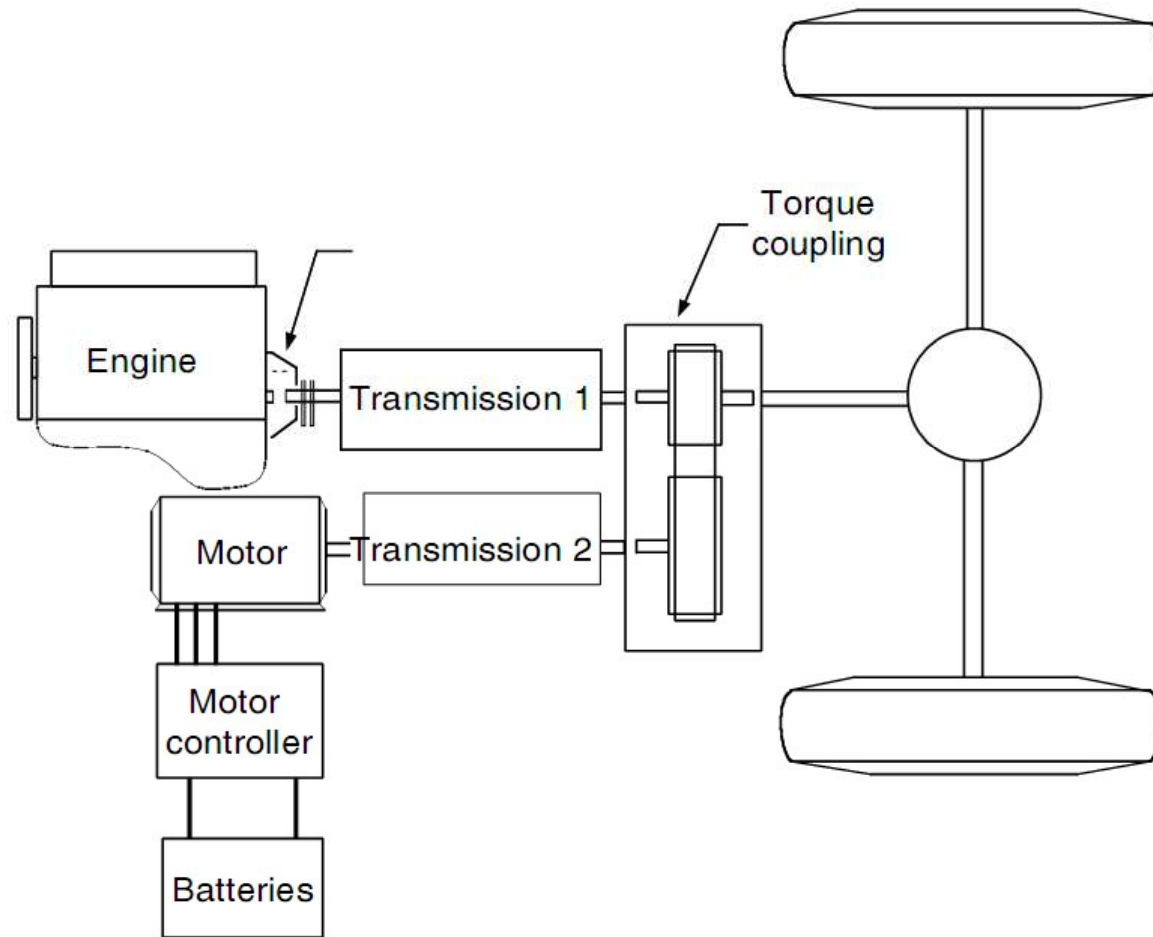


# Vehicul electric hibrid de tip paralel

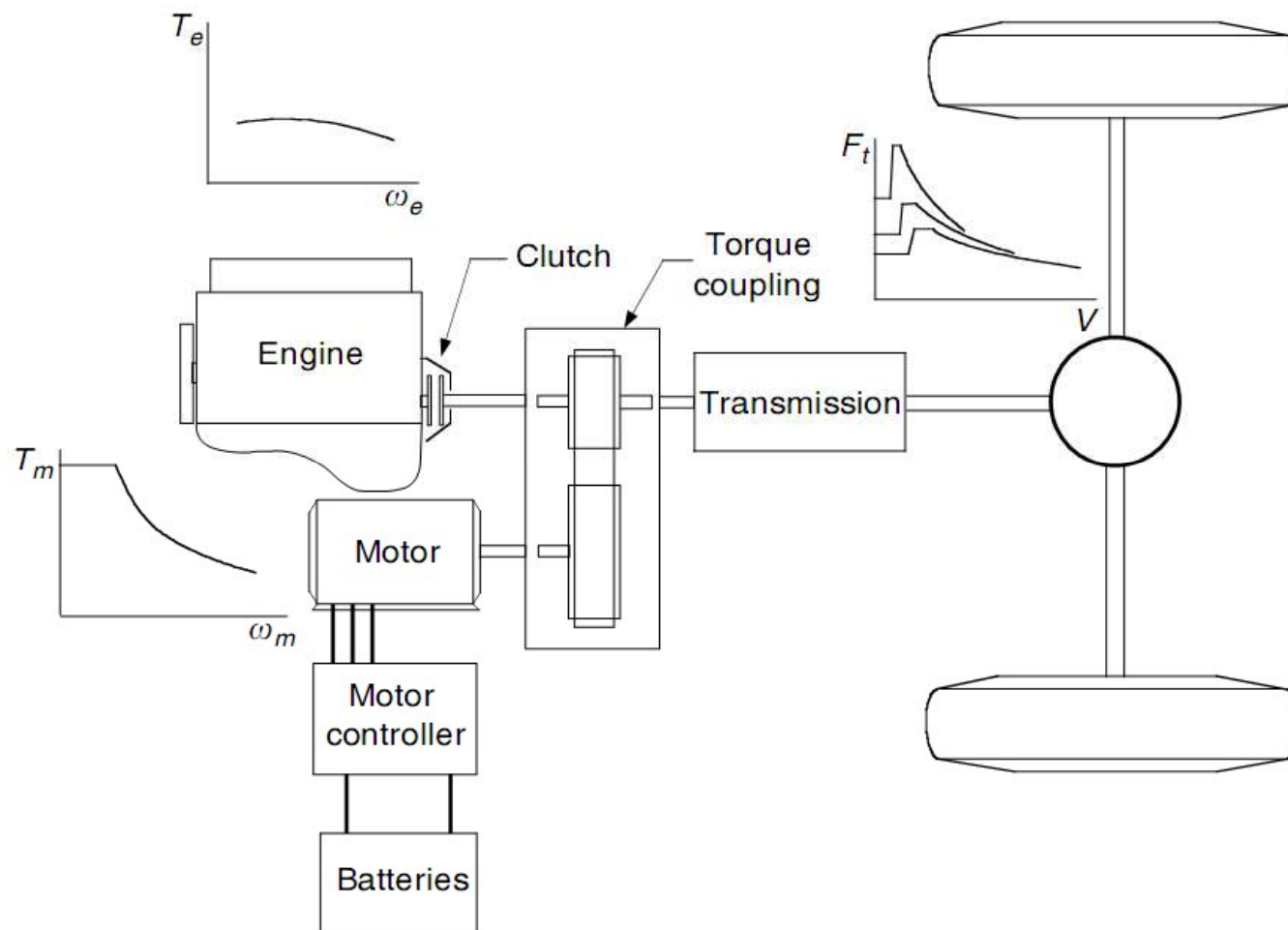




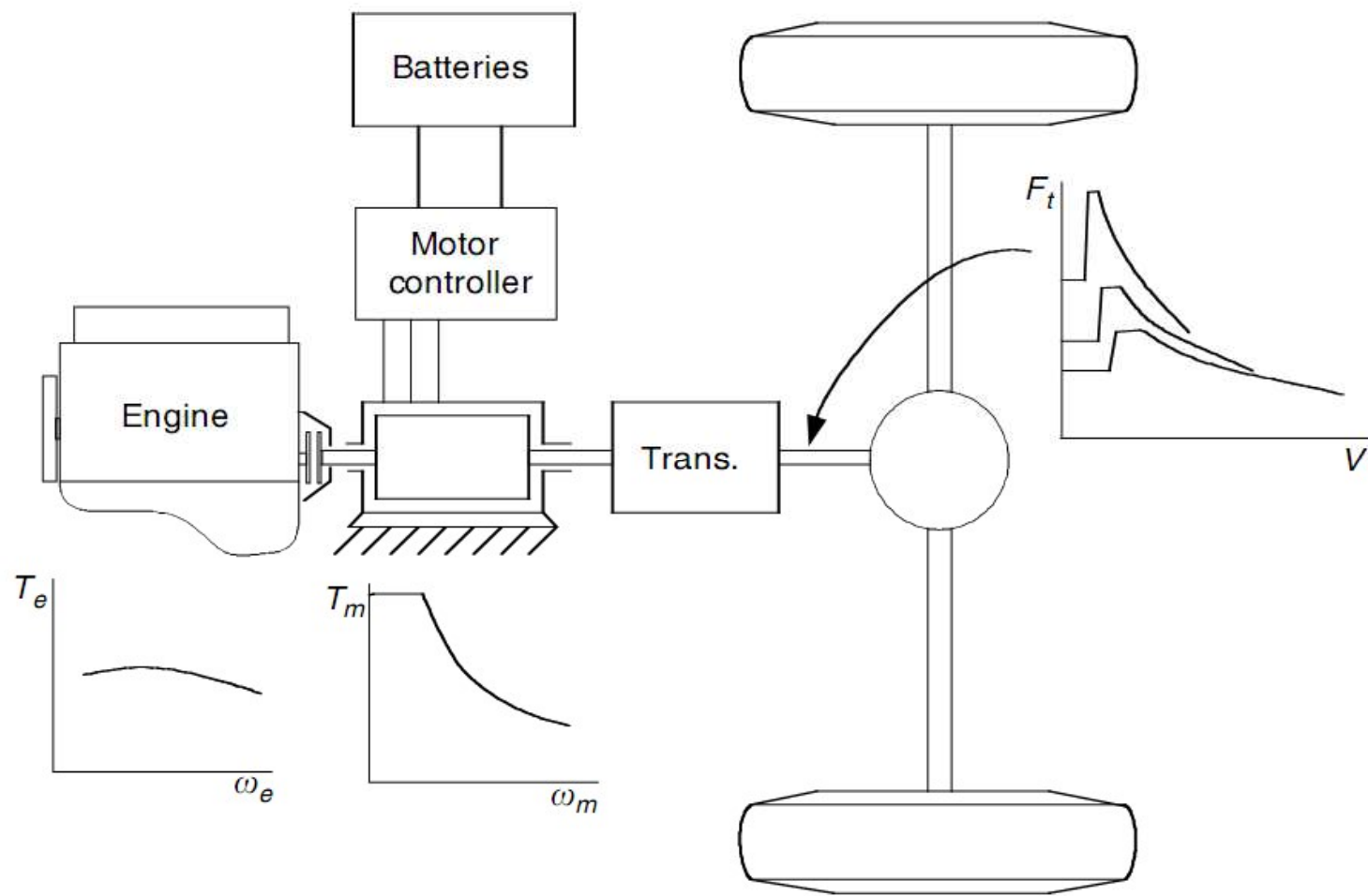
# Vehicul electric hibrid cu partajarea continuă a cuplului



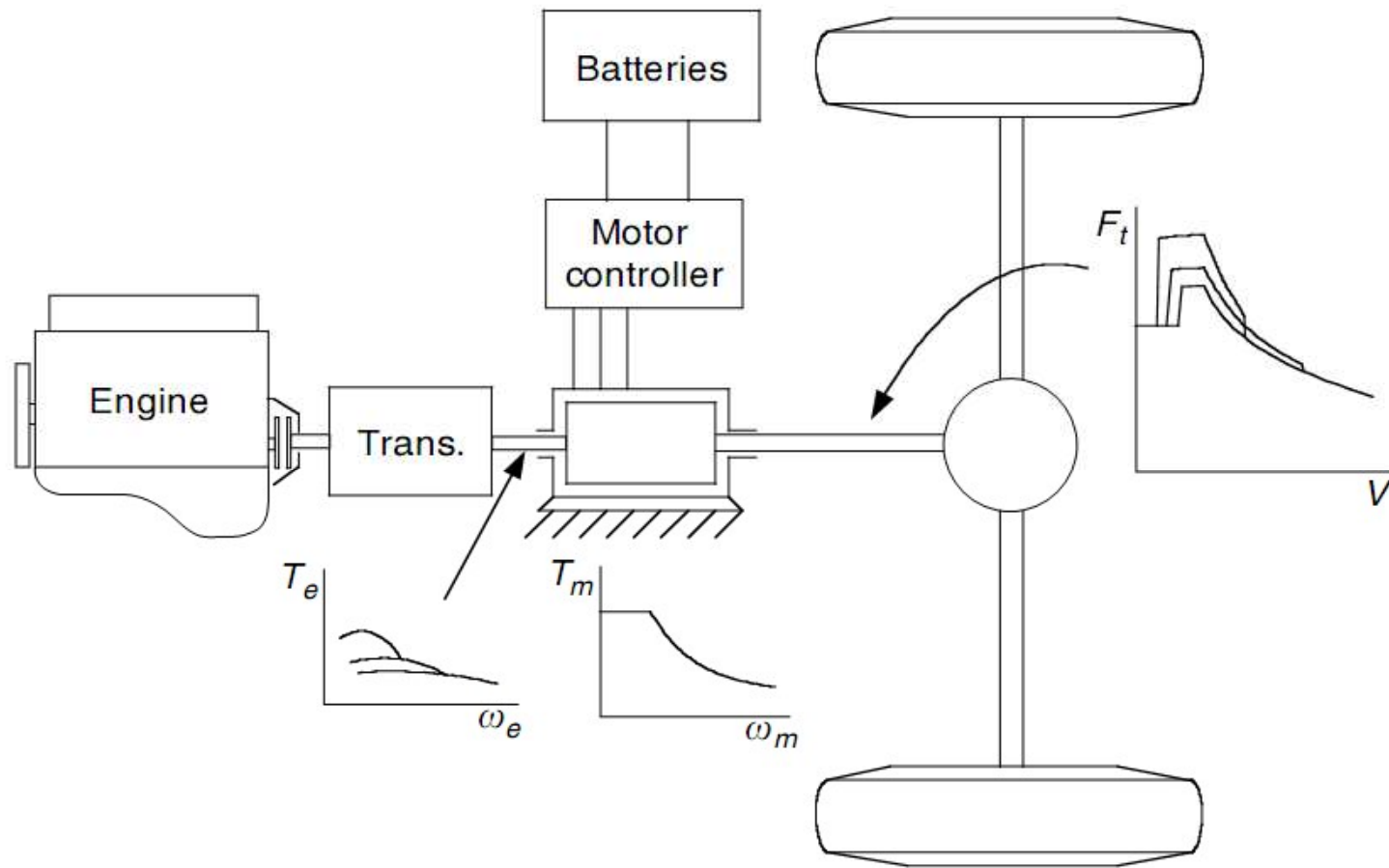
Propulsie cu sistem de transmisie distinct



## Propulsie cu transmisie comună

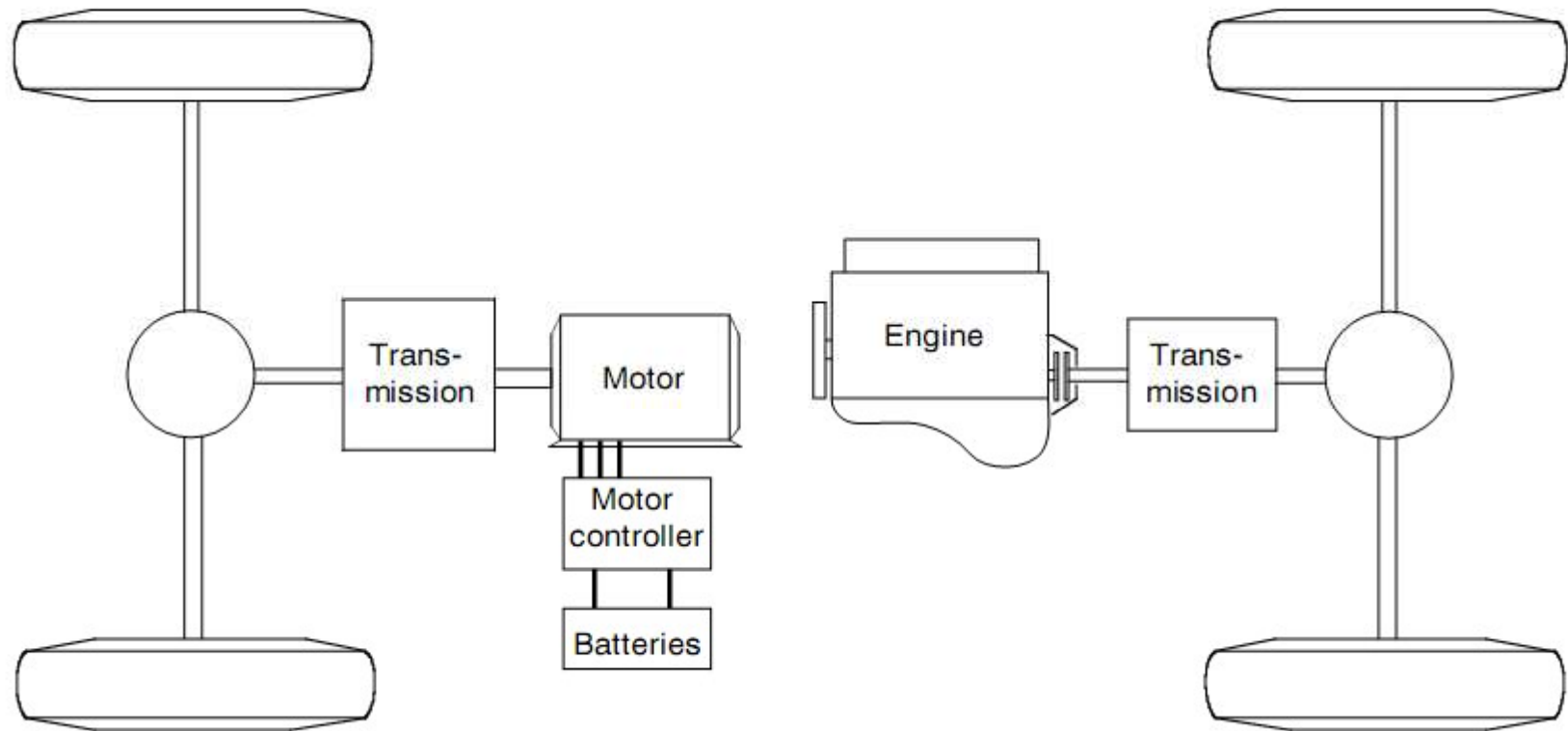


Propulsie pe același arbore pretransmisie



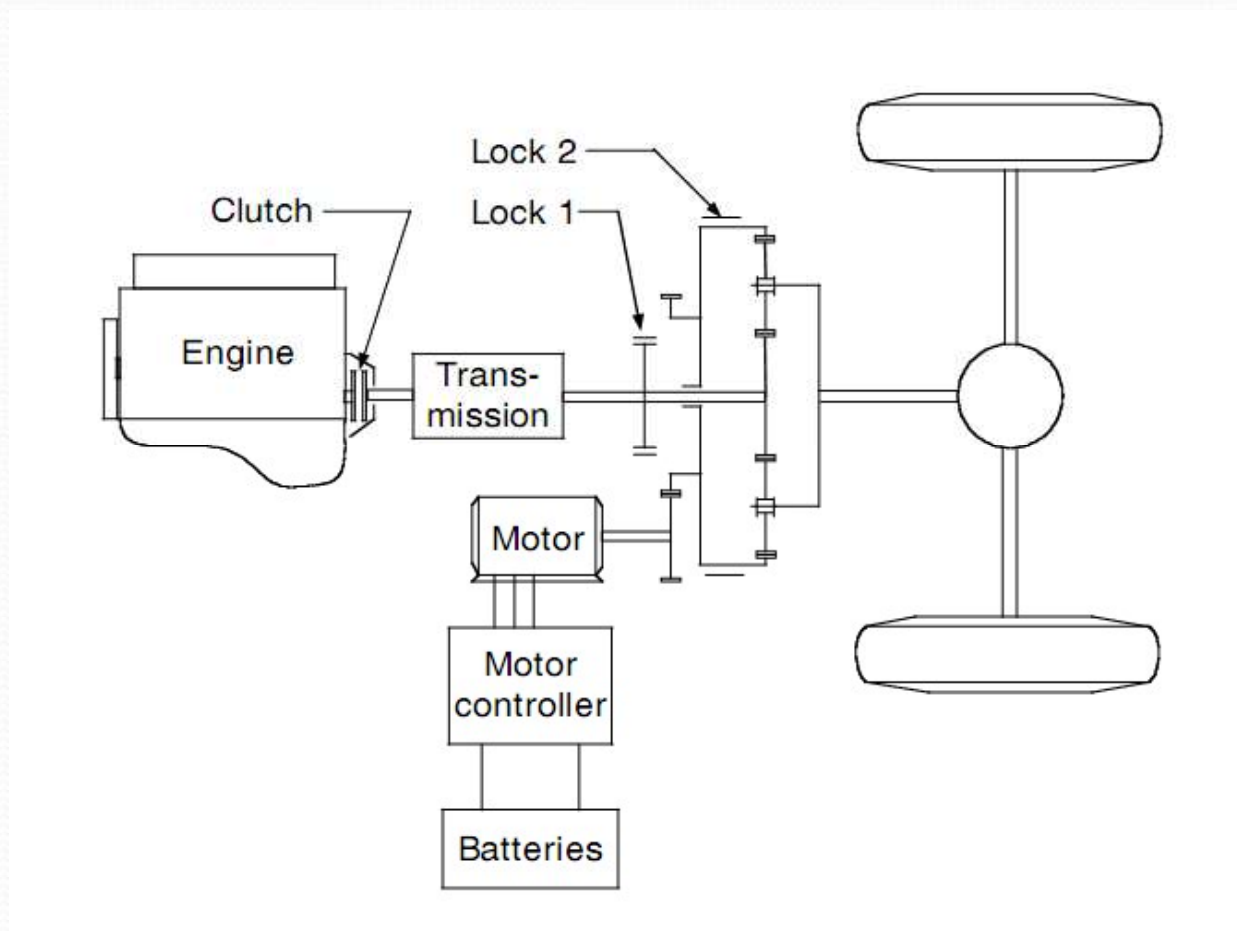
Propulsie pe același arbore post-transmisie



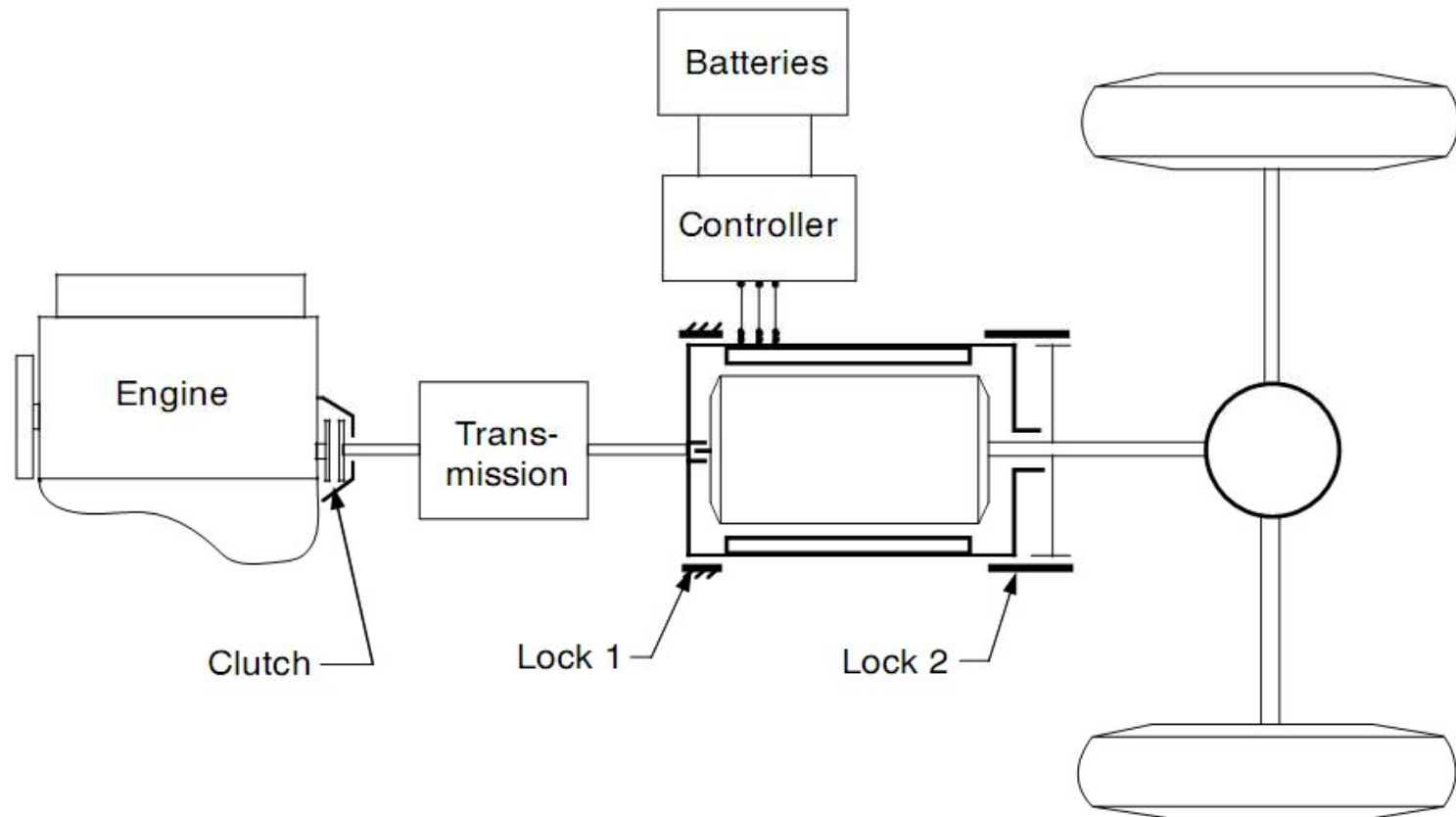


Propulsie pe axe distincte

## Vehicul electric hibrid cu partajarea turației

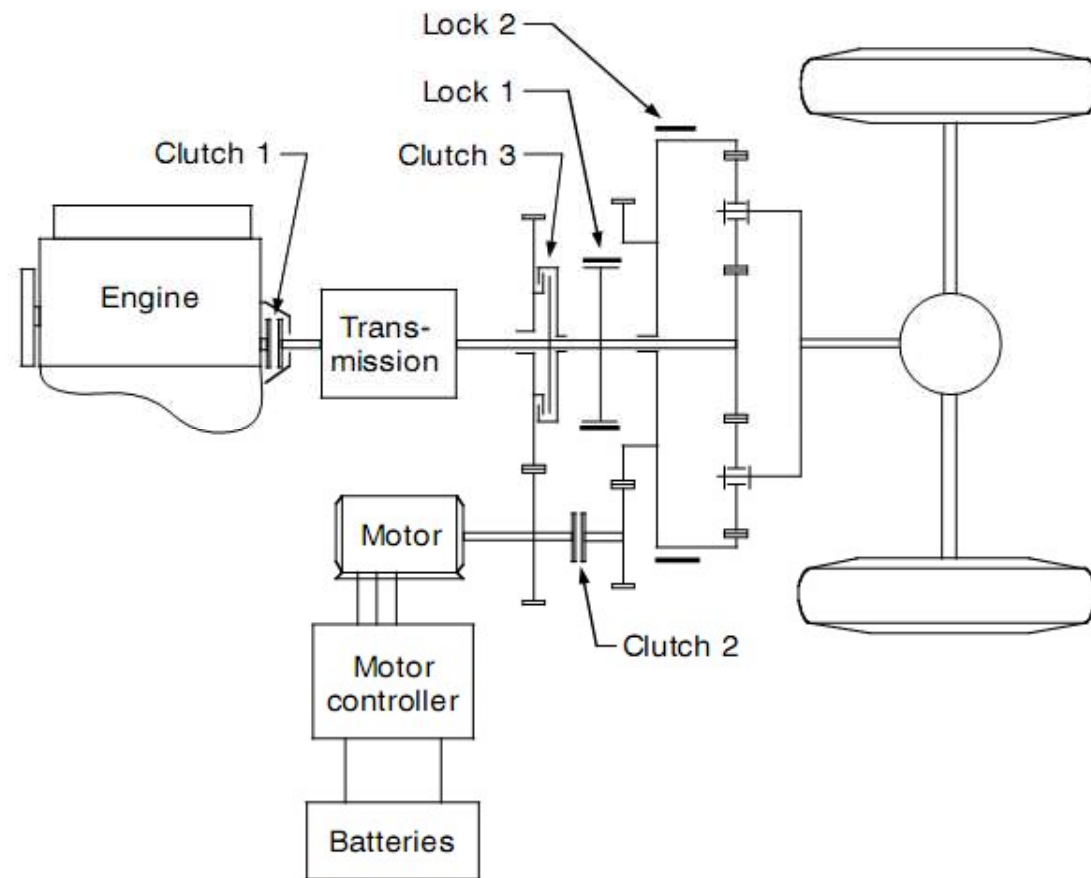


Cuplarea prin dispozitivul planetar



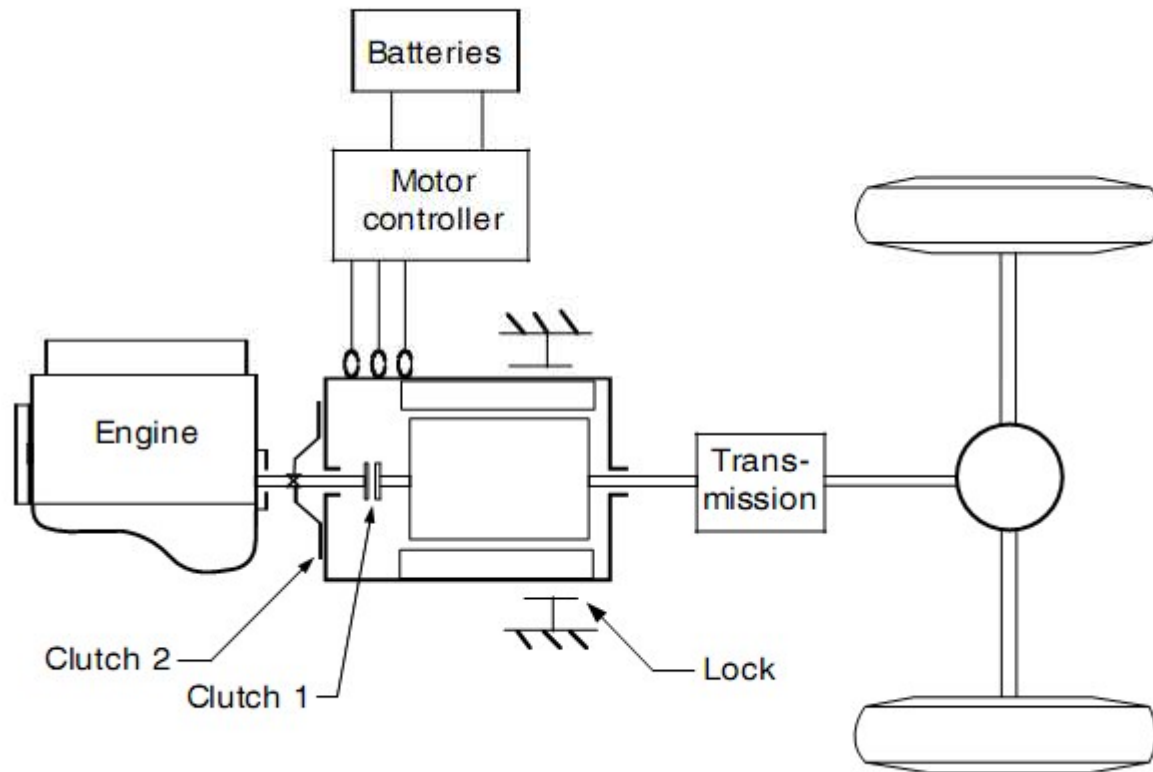
Cuplarea prin transmisie

## VEHICUL ELECTRIC HIBRID CU PARTAJAREA CUPLULUI ȘI AL TURAJEI

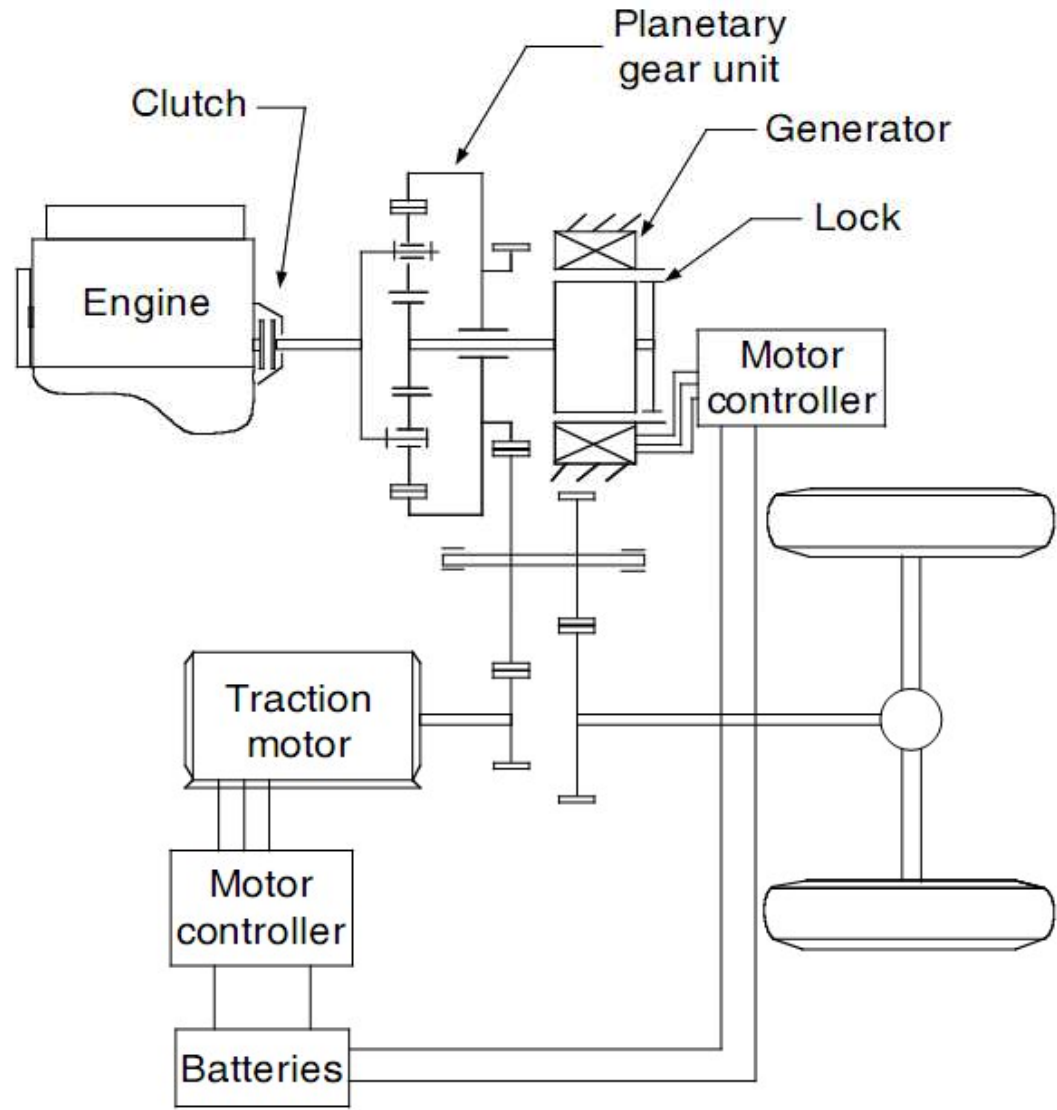


Partajare alternativă prin dispozitivul planetar

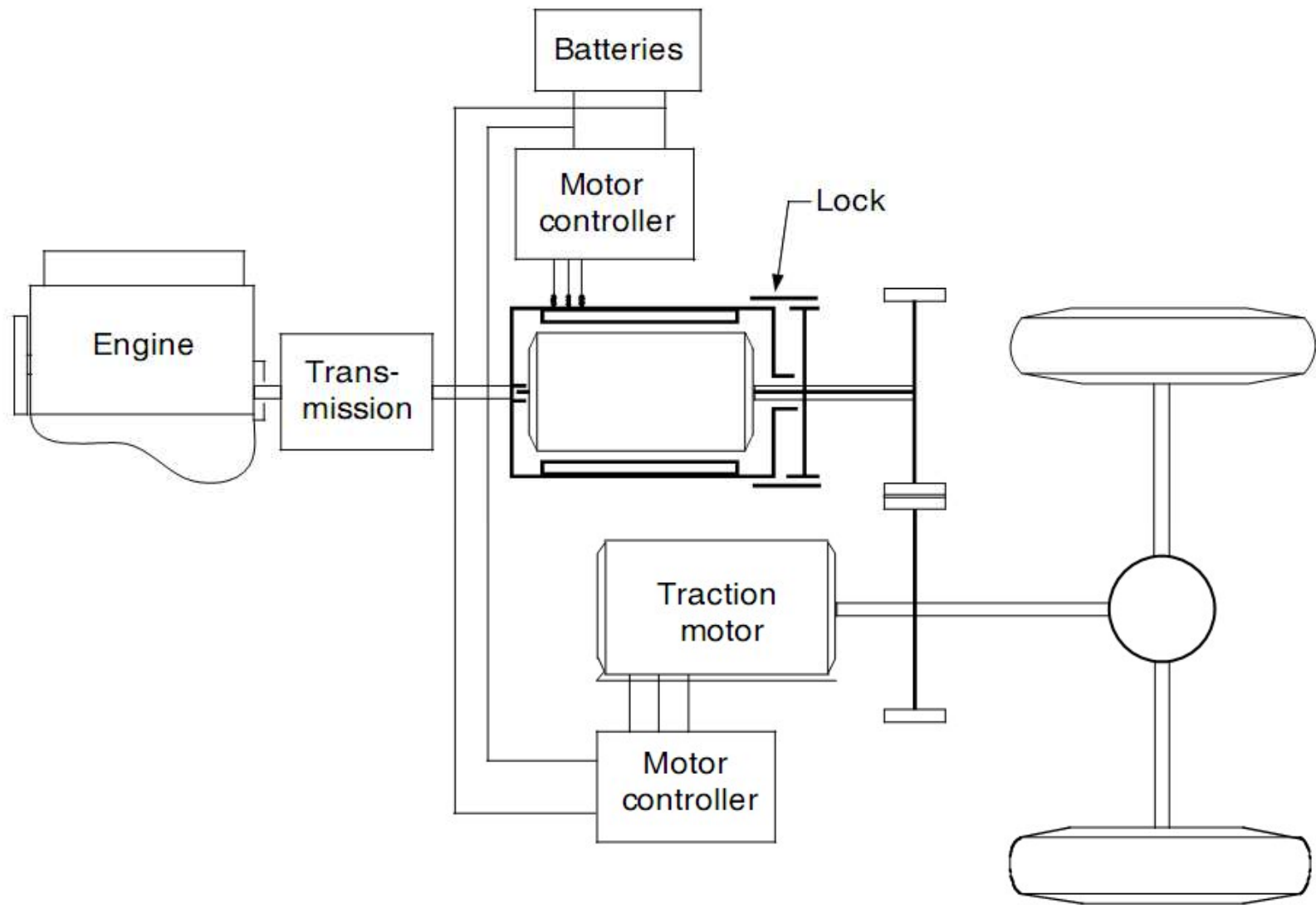




Partajare alternativă prin transmisie



Partajare integrată a cuplului și turației



Partajare integrată a cuplului și turației prin transmisie

# Autovehicule électrique



Thomas Edison și mașina electrică , 1913



# Generalitati despre autovehicule electrice

## Avantaje notabile:

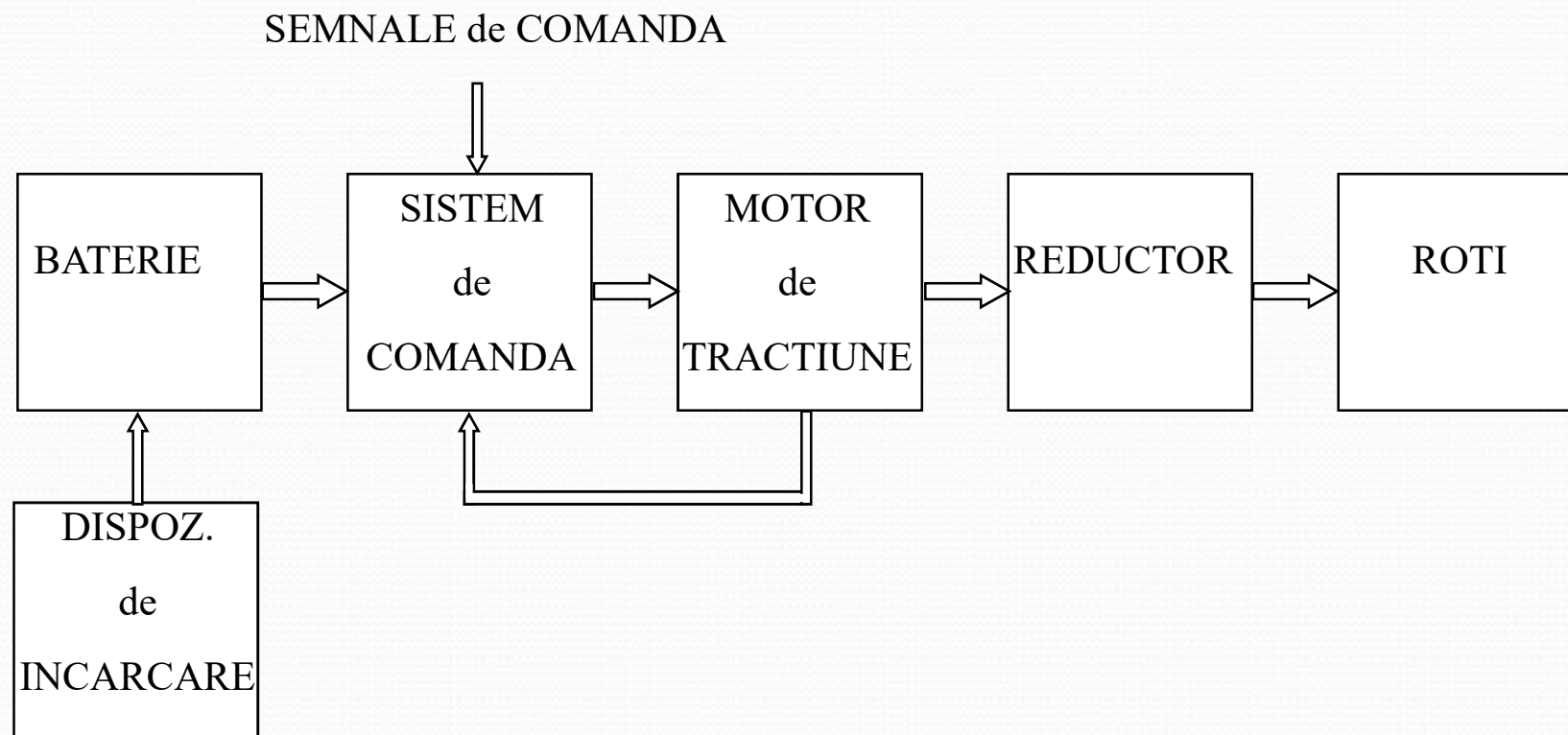
- reducerea drastică a poluării chimice și fonice;
- utilizare a unor sisteme de acționare complexe;
- utilizarea frânării electrice recuperativă;
- acționare individuală a roților conduce la simplificarea sistemelor de transmisie.



## **Dezavantaje notabile:**

- densitatea redusă de energie și de putere a acumulatorilor electrice;
- necesitatea unor stații de încărcare a bateriilor de acumulare;
- investiții inițiale mari;

# Schema bloc a unui automobil electric





# Modele de automobile electrice

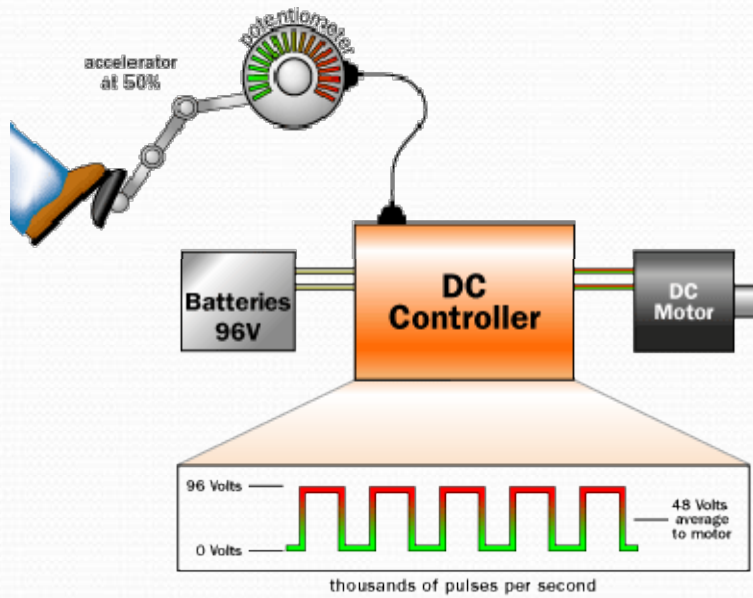
<b>Nume</b>	<b>Putere [kW]</b>	<b>Tip motor</b>	<b>Acceleratie 0 – 100 km/h [s]</b>	<b>Viteza maxima [km/h]</b>	<b>Autonomie [km]</b>	<b>Timp incarcare [h]</b>
ESCOMOTO	6,5	Mcc	-	70	120	< 10
HONDA EV+	49	Mcc	17,7	140	200	6 – 8
Chevrolet Geo Prism 1994 EV	50	MAS	15	150	80	6 – 7
Tesla Roadster	185	MAS	3,9	200	400	3,5
Venturi Fetish	180	MAS	3	160	250	3 – 4
Wrightspeed X1	176	MAS	3	180	160	1,5

# Părți component ale automobilelor electrice

## *Motorul electric*

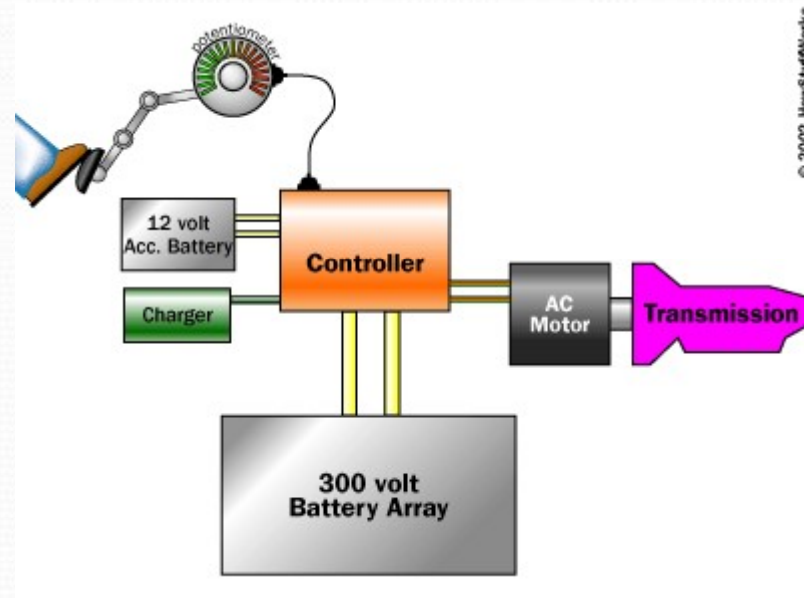
Tip motor	Contacte alunec.	Cuplu specific [Nm/kg]	Cost	Intretinere	Randament	Complexit. schema comanda
Motor de c.c cu excitatie serie	DA	scazut	mediu	DA	scazut	scazuta
Motor de c.c cu excitatie sep.	DA	scazut	mediu	DA	scazut	scazuta
Motor de c.c cu magn. perman.	DA	mediu	ridicat	DA	mediu	scazuta
Motor de c.a. asincron	NU	mediu	scazut	NU	scazut	ridicata
Motor de c.c. fara perii	NU	ridicat	ridicat	NU	ridicat	scazuta
M.cu reluctanta dublu variab.	NU	ridicat	scazut	NU	mediu	medie

# Controlerul (chopper / invertor)



*chopper*

© 2002 HowStuffWorks

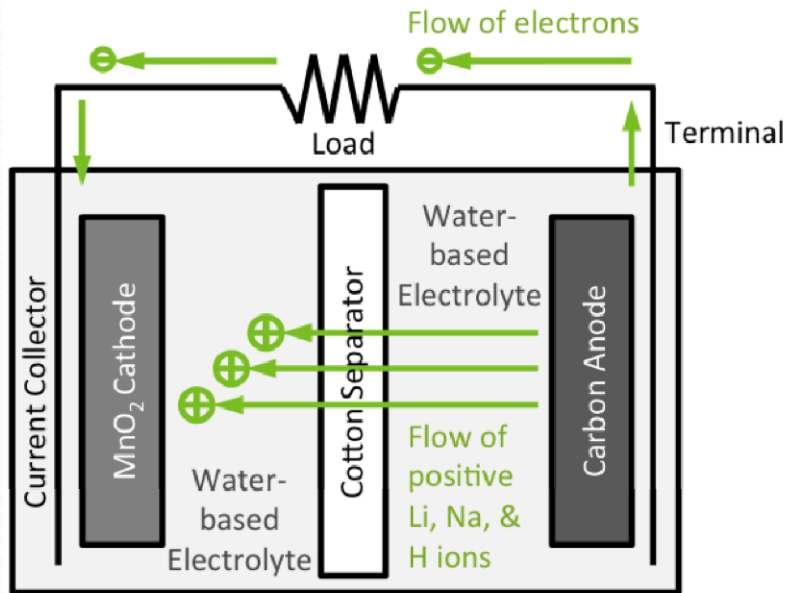


© 2002 HowStuffWorks

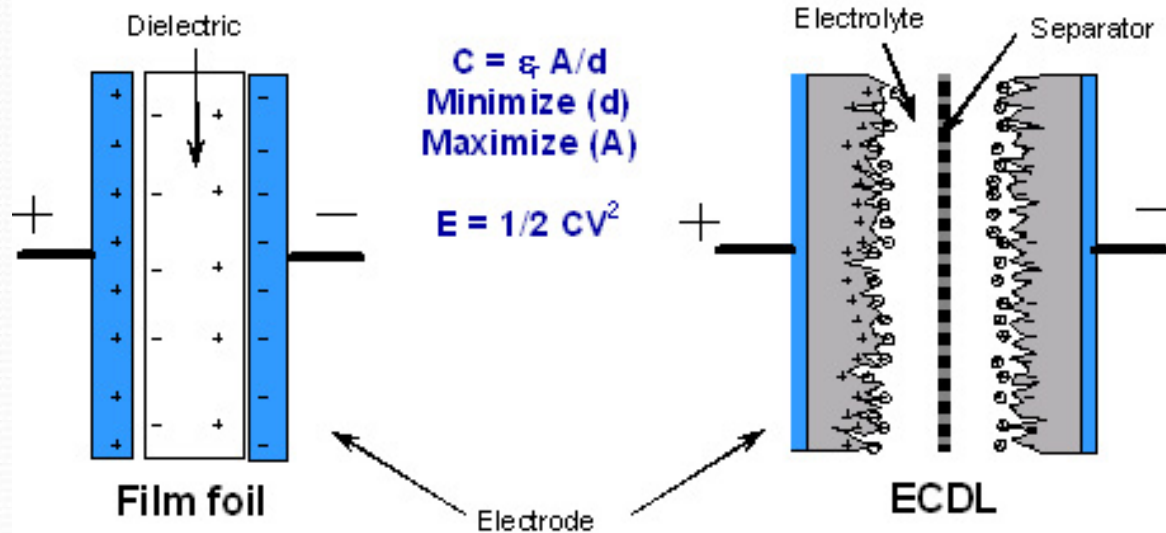
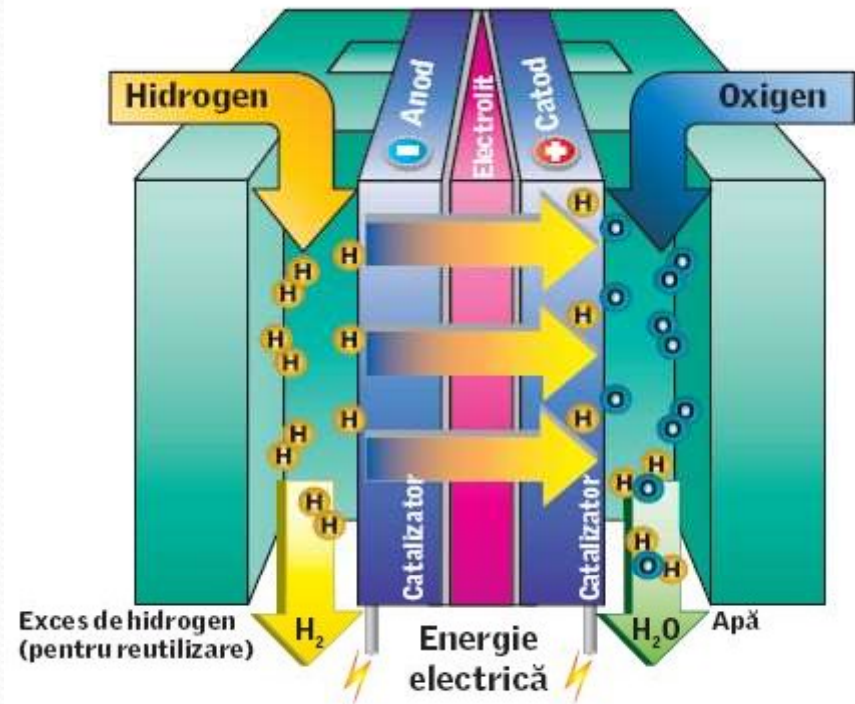
*invertor*



# Acumulatoare (Baterii, supercondensatori pile de combustie)



# Pilă de combustie





# Surse de energie utilizate pe autovehiculele electrice și hibride

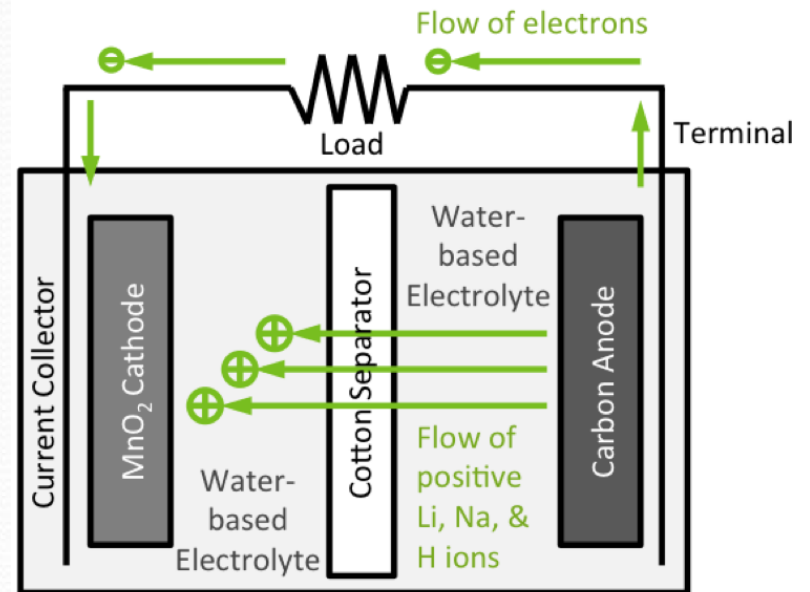


# Baterii de acumuloare

- Cerințe:
  - Putere mare
  - Capacitate de vârfuri de sarcină
  - Capacitate de încărcare rapidă
  - Durată de viață mare
  - Număr ridicat de cicluri de reîncărcare
  - Realizate din materiale nepoluante și reciclabile

- Tipuri de baterii:

- Baterii de acumuloare cu plumb
- Baterii alcaline cu hidruri metalice-nichel – NiMH
- Baterii alcaline Nichel-Cadmiu
- Baterii cu Litiu-Polimer
- Baterii cu Litiu-Ion





- Parametrii bateriilor de tracțiune:

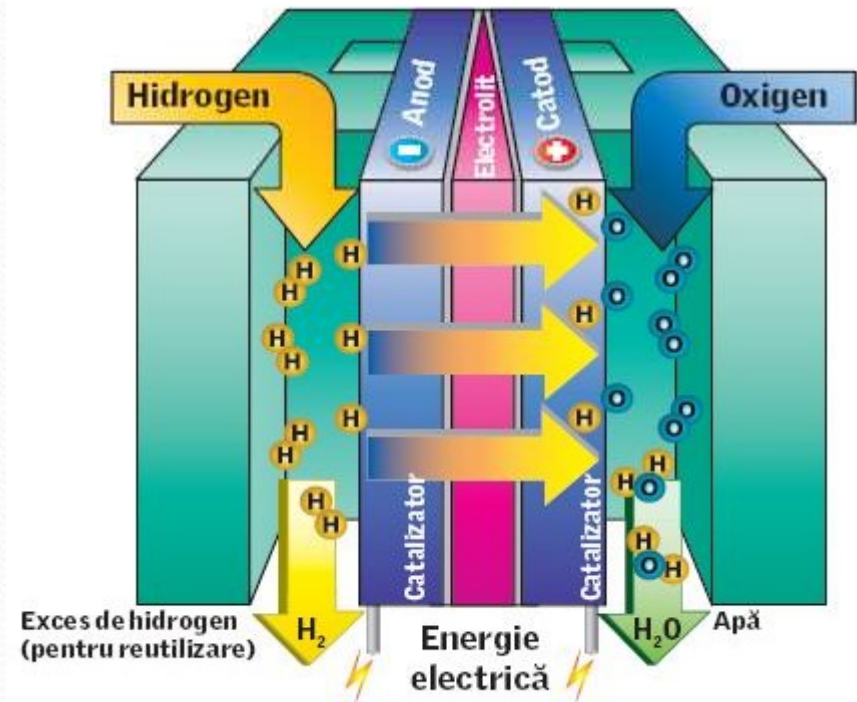
- Tensiunea electrică [V]
- Capacitatea [Ah]
- Rata de descărcare
- Rezistența internă
- Puterea specifică și energia specifică [Wh/kg] [kJ/kg]
- Autodescărcarea
- Randamentul bateriei
- Durata de viață
- Temperatura
- SOC-Gradul de încărcare
- Gradul de descărcare
- Efectul de memorie
- Durata de reîncărcare
- Costul bateriei

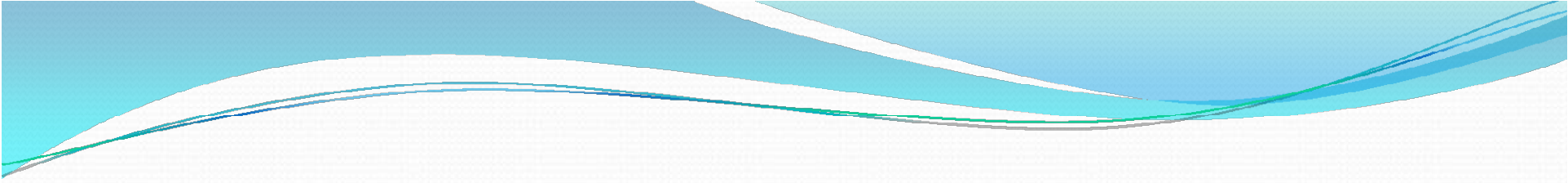


# Pile de combustie

- Pila de combustie reprezintă un dispozitiv care transformă direct energia unui combustibil în energie electrică fără a fi nevoie de arderea acestuia.

Pilă de combustie



- 
- Tipuri de pile de combustie:
    - Pile cu polimeri
    - Pile cu electrolit alcalin
    - Pile cu metanol
    - Pile cu acid fosforic
    - Pile cu carbonați topiți
    - Pile cu electrolit solid sau tubular



- Avantaje:

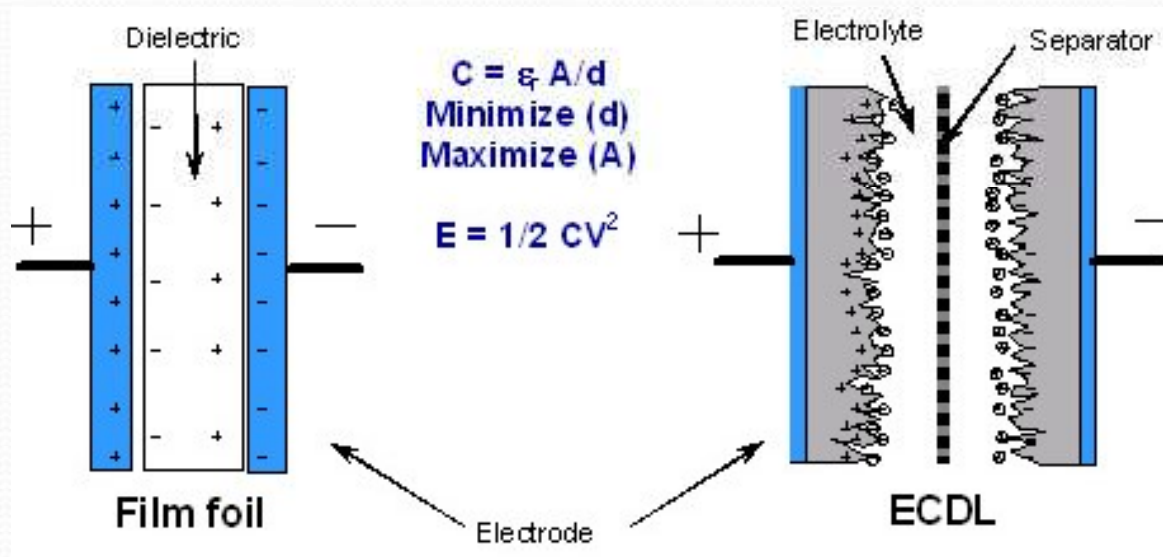
- Conversie directa a energiei
- Poluare fonica redusă
- Capacitate bună de lucru la temperaturi joase
- Adaptabilitate rapidă funcție de sarcină
- Flexibilitate în exploatare
- Capacitate bună de control

- Dezavantaje:

- Preț de cost ridicat
- Lipsa infrastructurii
- Necesită măsuri suplimentare de siguranță
- Rezervoare mai voluminoase de stocare
- Elemente suplimentare de gestionare

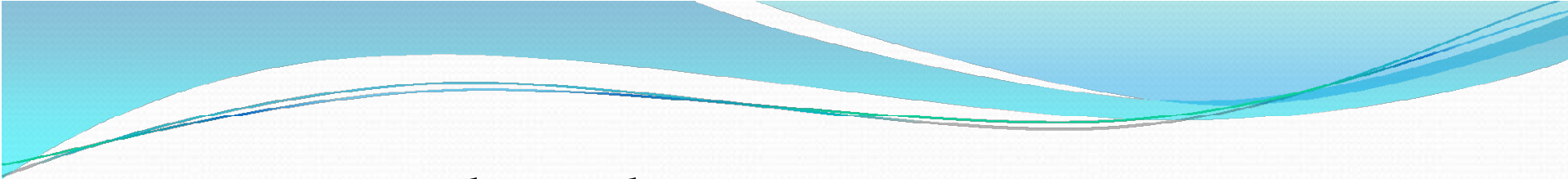


# Supercondensatoare

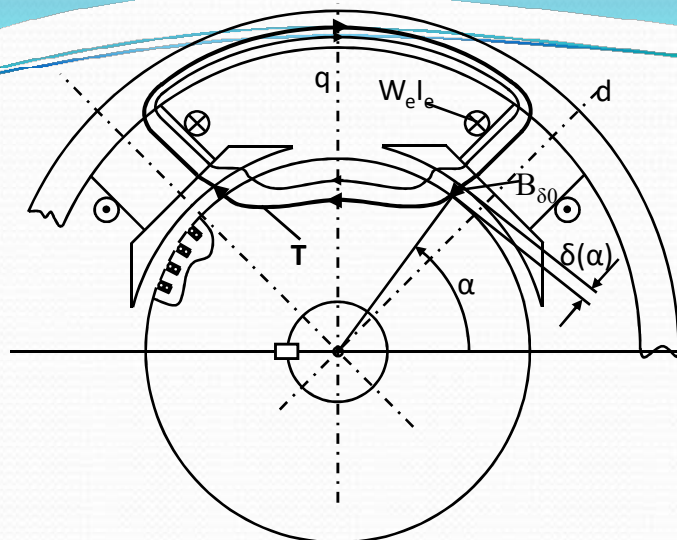




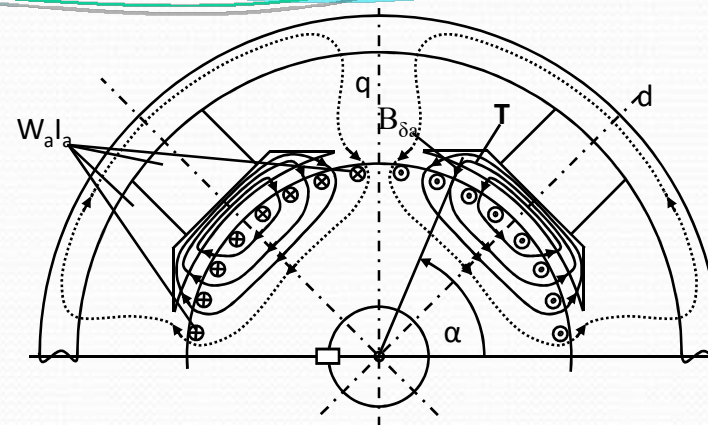
# Mașini electrice utilizate în tracțiune

- 
- Mașini electrice de curent continuu
    - autoexcitate
      - cu excitație serie
      - cu excitație derivație
      - cu excitație mixtă
    - cu excitație separată
      - de tip electromagnetică
      - cu magneți permanenți
  - Mașini electrice de curent alternativ
    - de inducție
      - cu rotor bobinat
      - cu rotor scurtcircuit
    - sincrone
      - cu excitație electromagnetică
      - cu magneți permanenți
      - cu reluctanță variabilă
    - brushless DC
    - SRM

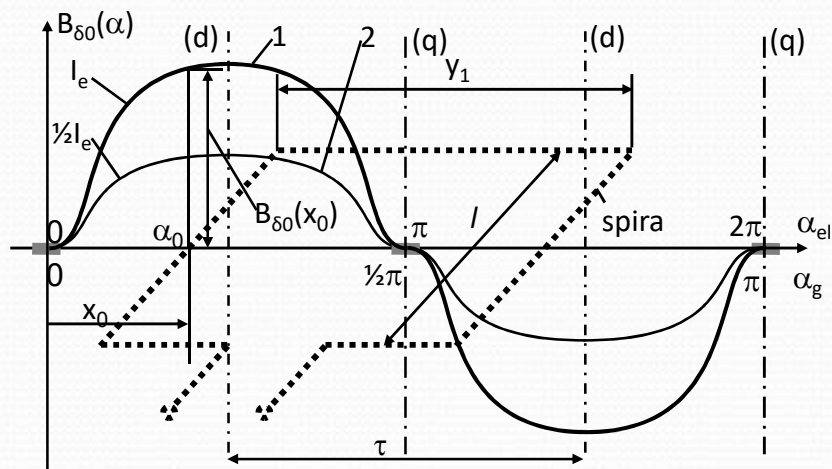




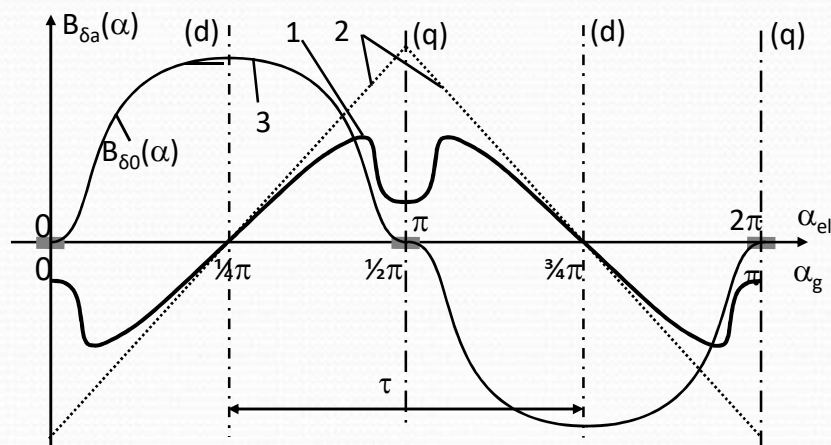
Câmpului inductor al mașinii de c.c.



Câmpul rotor, de reacție al mașinii de c.c.

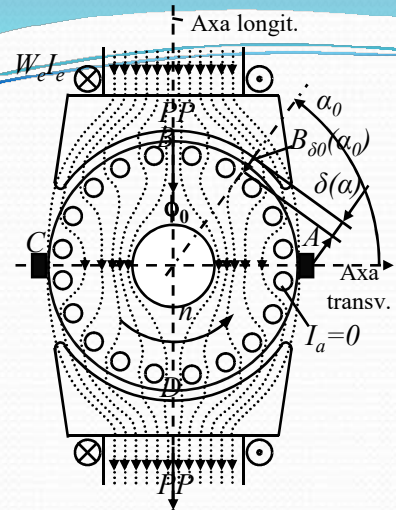


Câmpul magnetic inductor la mașina de c.c.

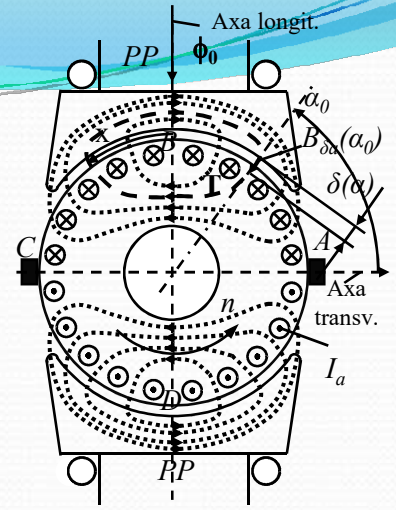
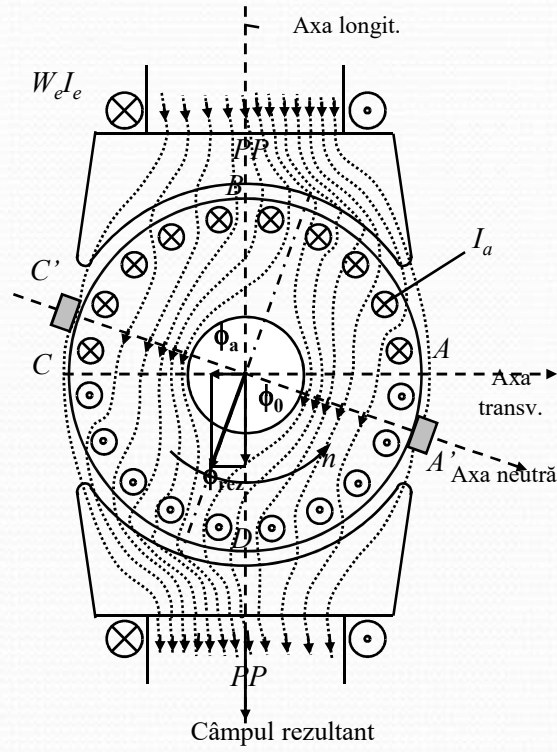


Câmpul magnetic rotor (de reacție) la mașina de c.c.

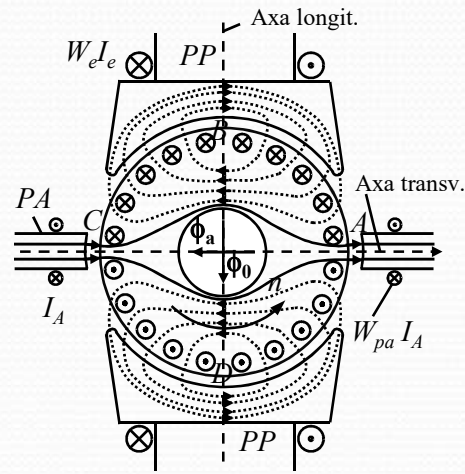




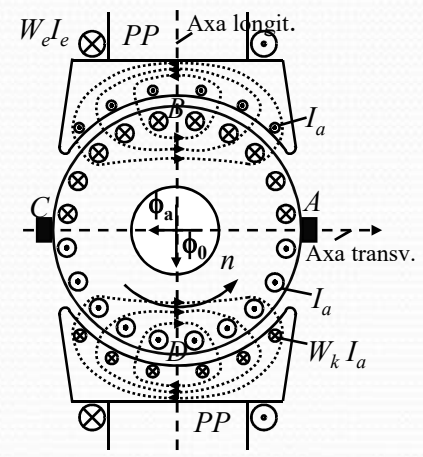
a) Câmpul de excitație



b) Câmpul de reacție a indusului



c) Câmpul polilor auxiliari

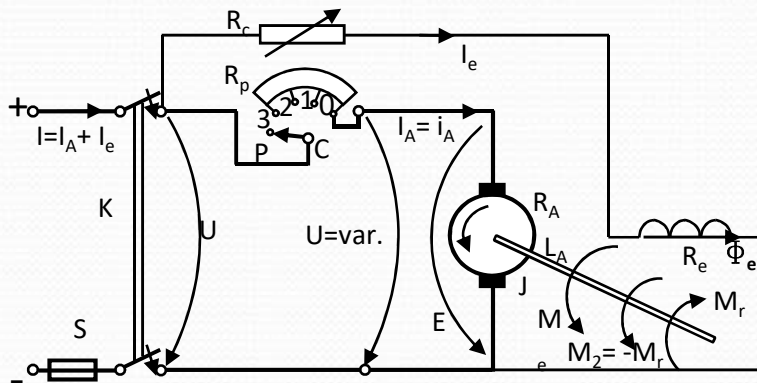


d) Câmpul înfășurării de compensație

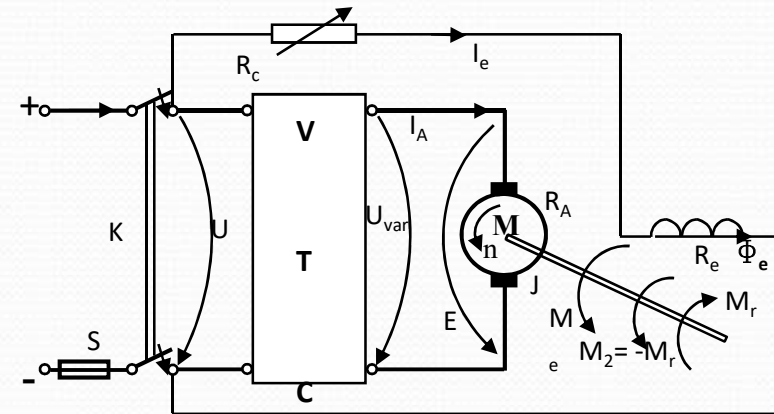
Câmpul rezultat

# Caracteristicile de funcționare ale motoarelor de c.c. cu excitație derivație

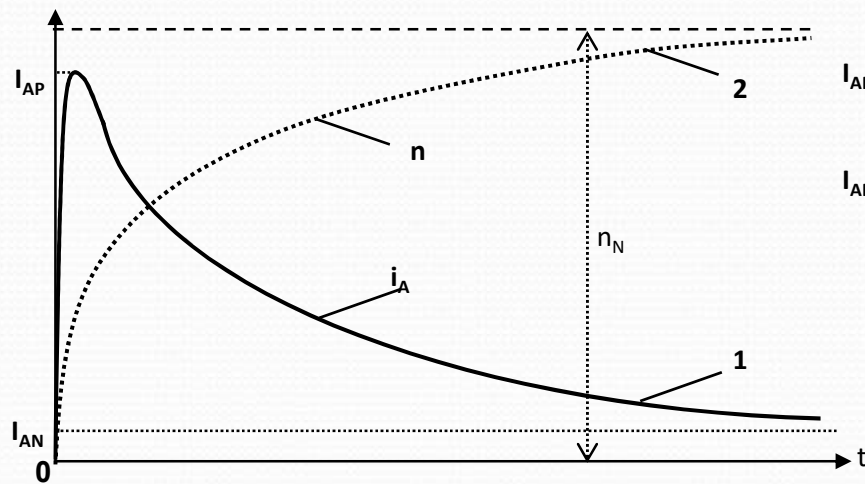
## Pornirea motorului cu excitație derivație



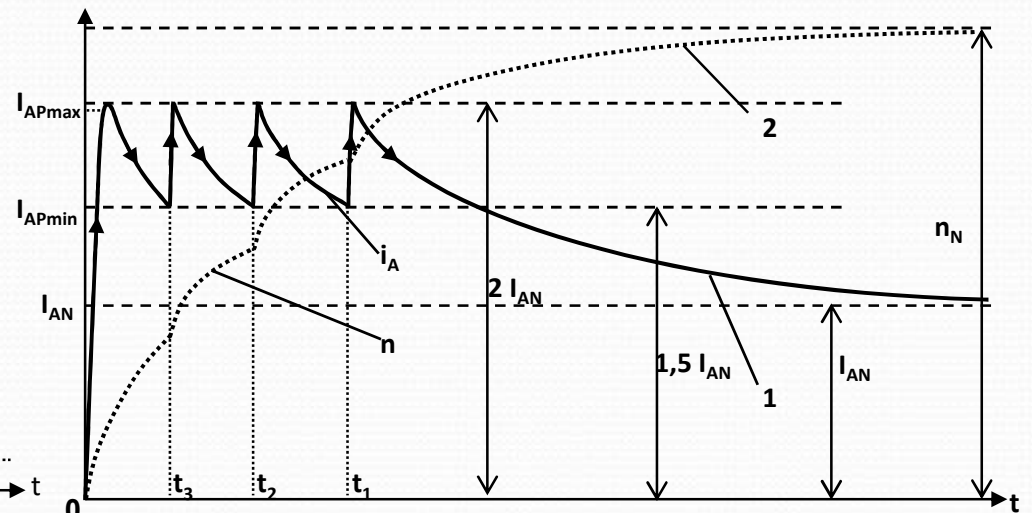
Pornirea unui motor de c. c. cu excitație derivație



Pornirea unui motor de c.c. derivație cu tensiune reglabilă

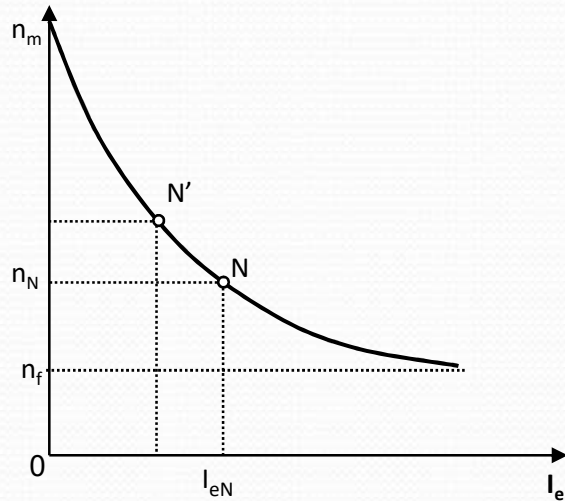


Variațiile curentului și turației la pornirea directă

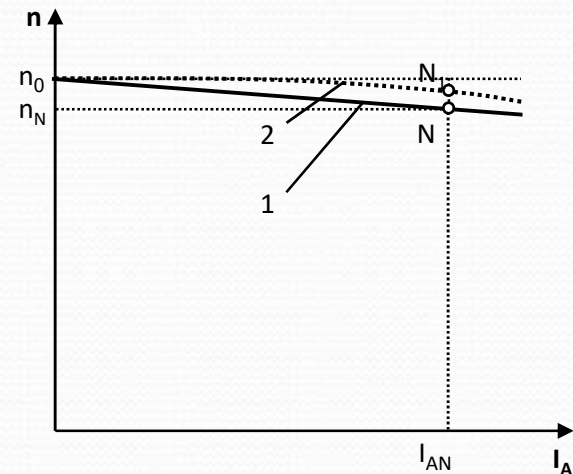


Variațiile curentului și turației la pornirea cu reostat

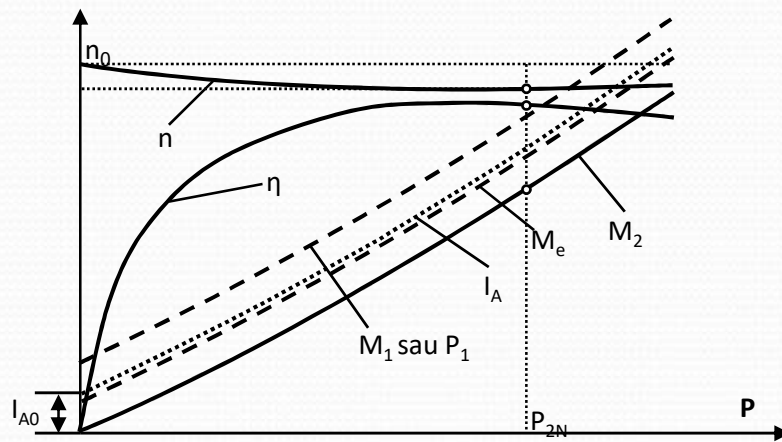
# Caracteristicile de funcționare ale motorului de c.c. derivație



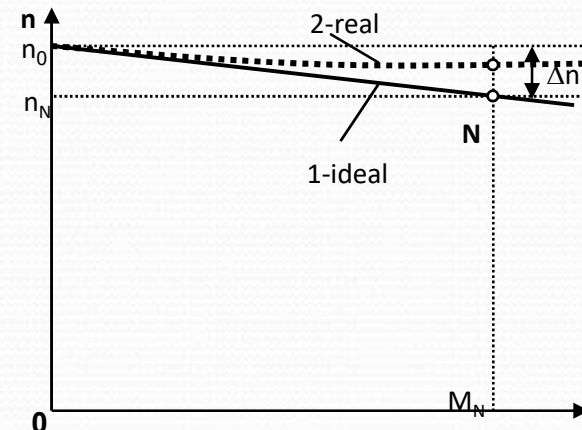
Caracteristica vitezei la gol



Caracteristica vitezei în sarcină



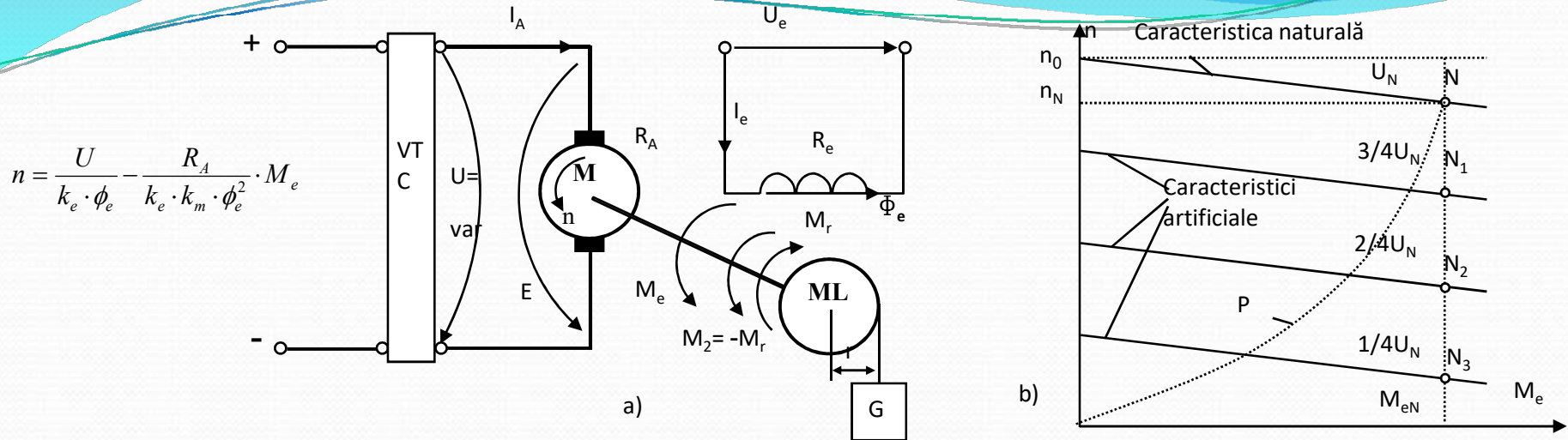
Caracteristicile de funcționare propriu-zise ale motorului derivație:  
 $P_1, M_e, M_2, I_A, n, \eta = f(P_2)$



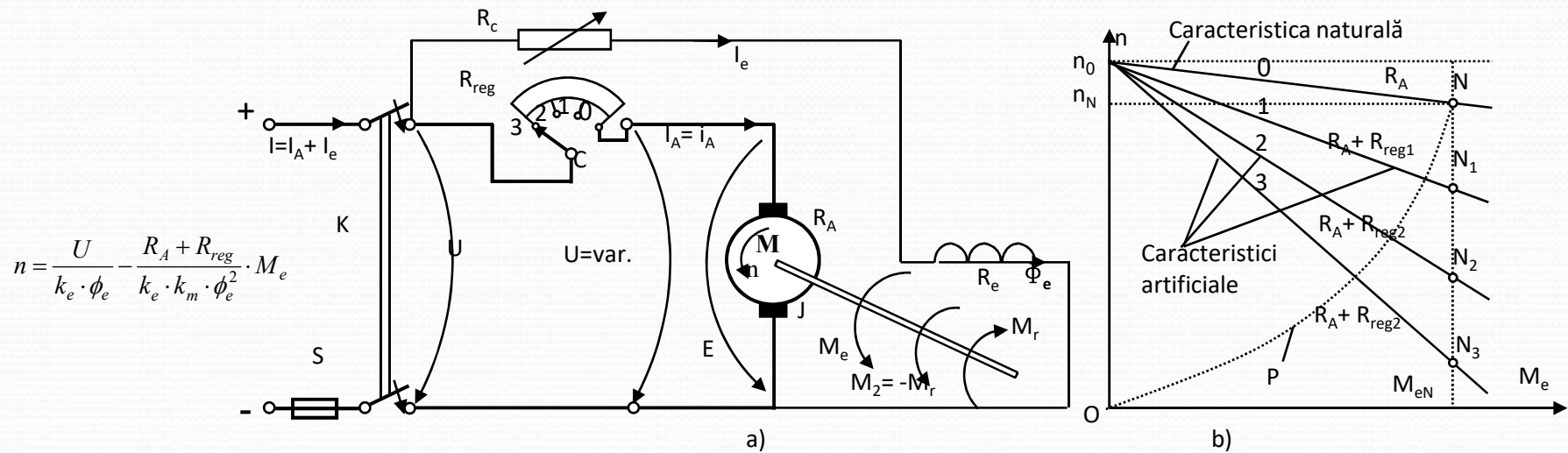
Caracteristica mecanică



# Reglajul vitezei motorului de c. c. cu excitație derivație (separată)



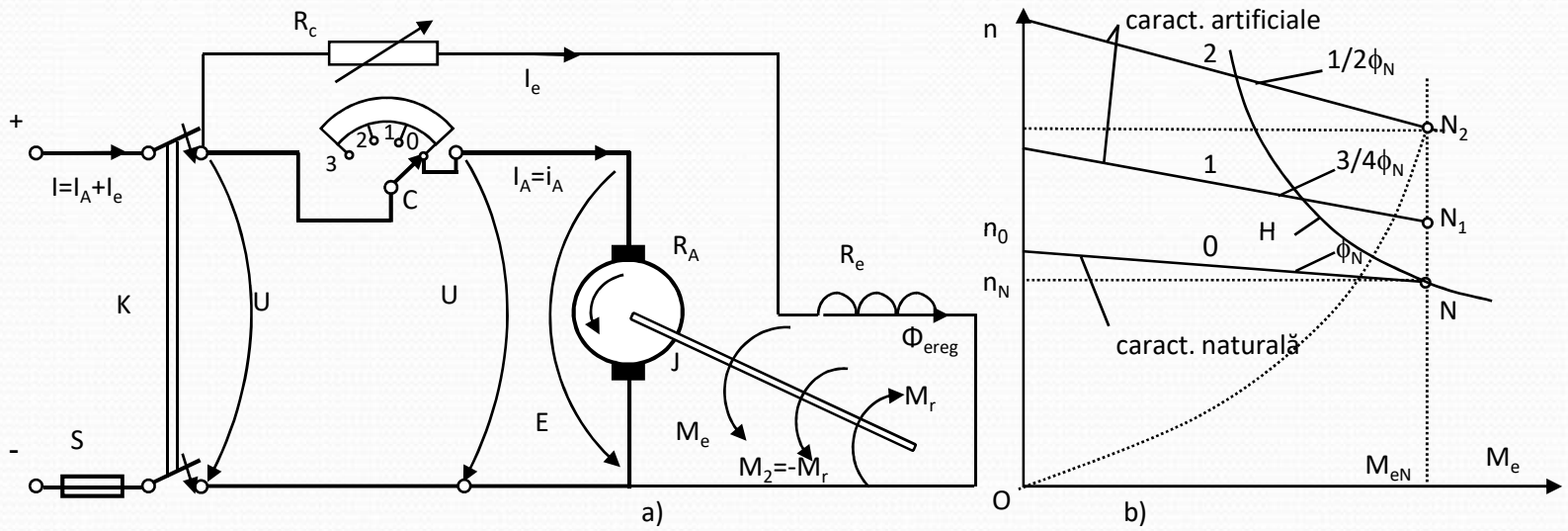
Reglajul turației unui motor de c.c. cu excitație separată prin U-variabil



Reglajul vitezei unui motor de c. c. cu excitație derivație prin R înseriat cu indusul

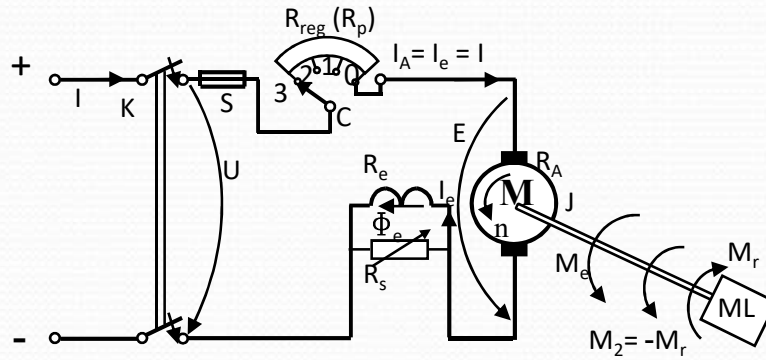


$$n = \frac{U}{k_e \cdot \phi_{ereg}} - \frac{R_A}{k_e \cdot k_m \cdot \phi_{ereg}^2} \cdot M_e$$



Reglajul vitezei unui motor de c. c. cu excitație derivație prin  $R$  înseriat cu inductorul

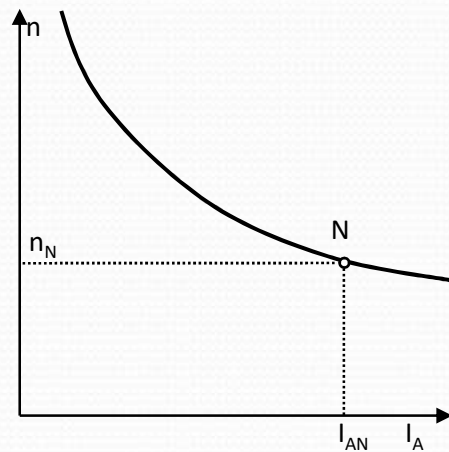
# Caracteristicile de funcționare ale motoarelor de c.c. cu excitație serie



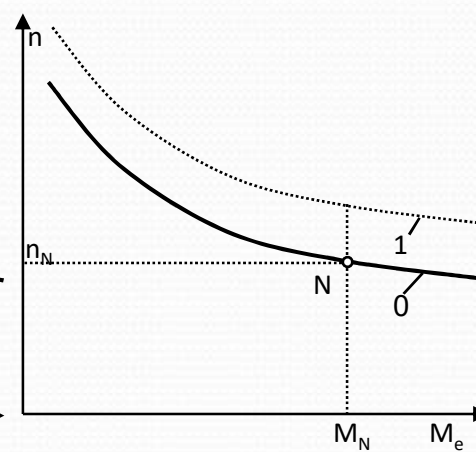
$$n = \frac{U}{k_e \phi_e} - \frac{R_t}{k_e \phi_e} I_A$$

Schema de pornire a unui motor de curent continuu cu excitație serie prin  $R_p$  înseriat cu indusul și inductorul

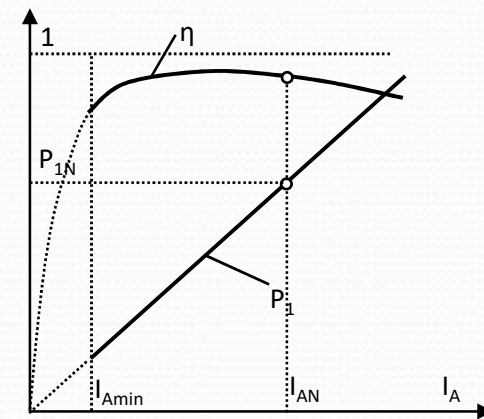
## Caracteristici de funcționare a motorului serie



Caracteristica vitezei

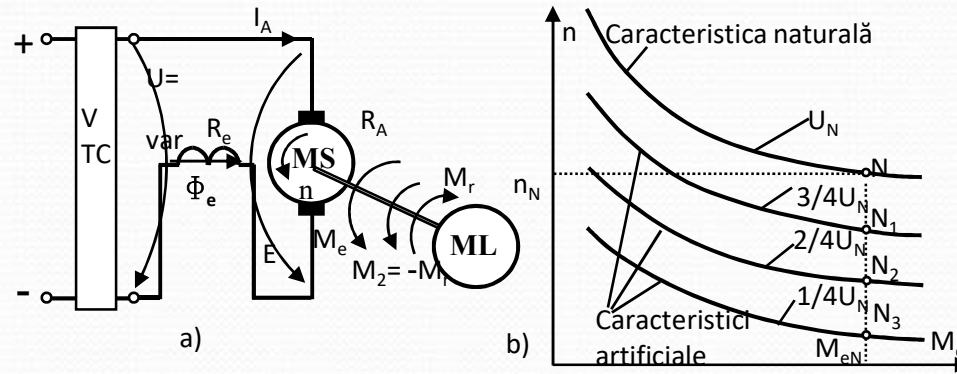


Caracteristica mecanică

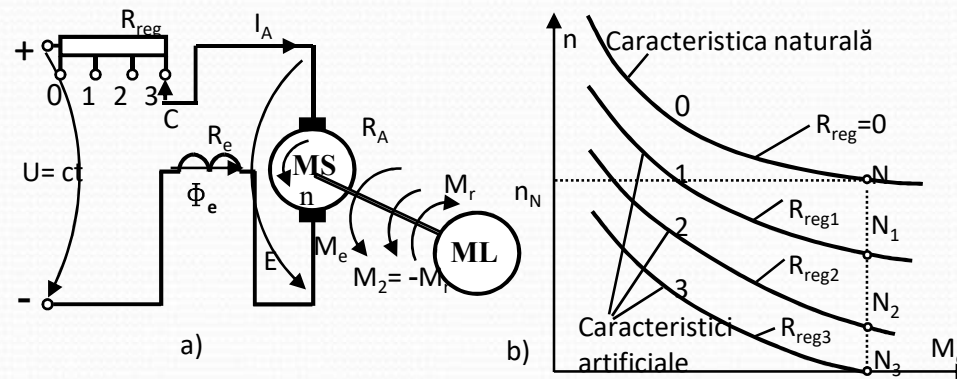


Caracteristici energetice

# Reglajul vitezei motorului de c. c. cu excitație serie



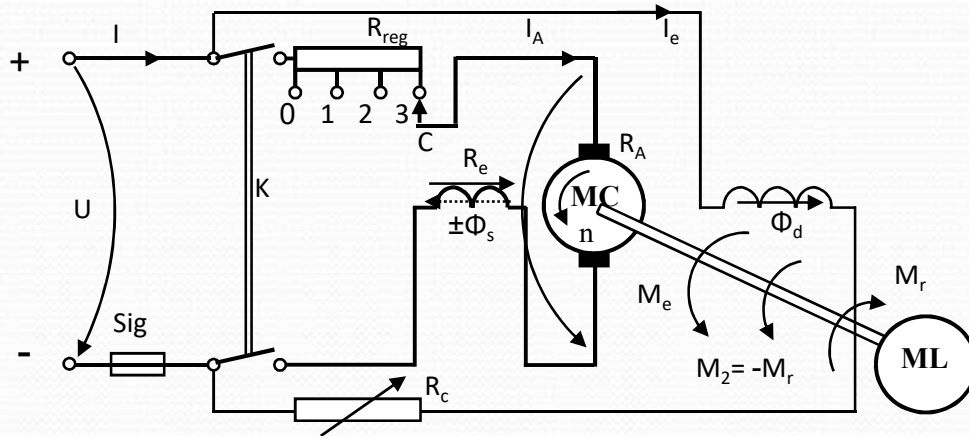
Reglajul turației unui motor de c. c. serie prin U-variabil



Reglajul turației unui motor de c. c. serie prin  $R_{reg}$ -variabil

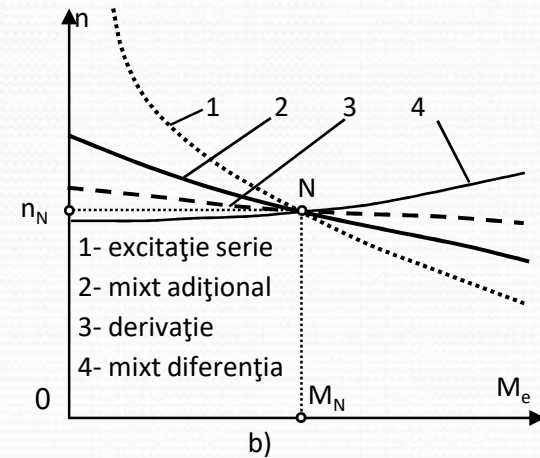
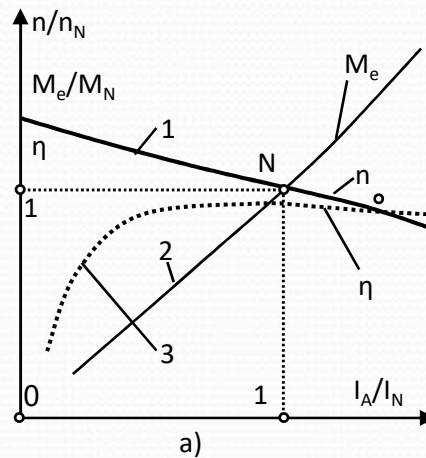


# Caracteristicile de funcționare a motoarelor de c.c. cu excitație mixtă



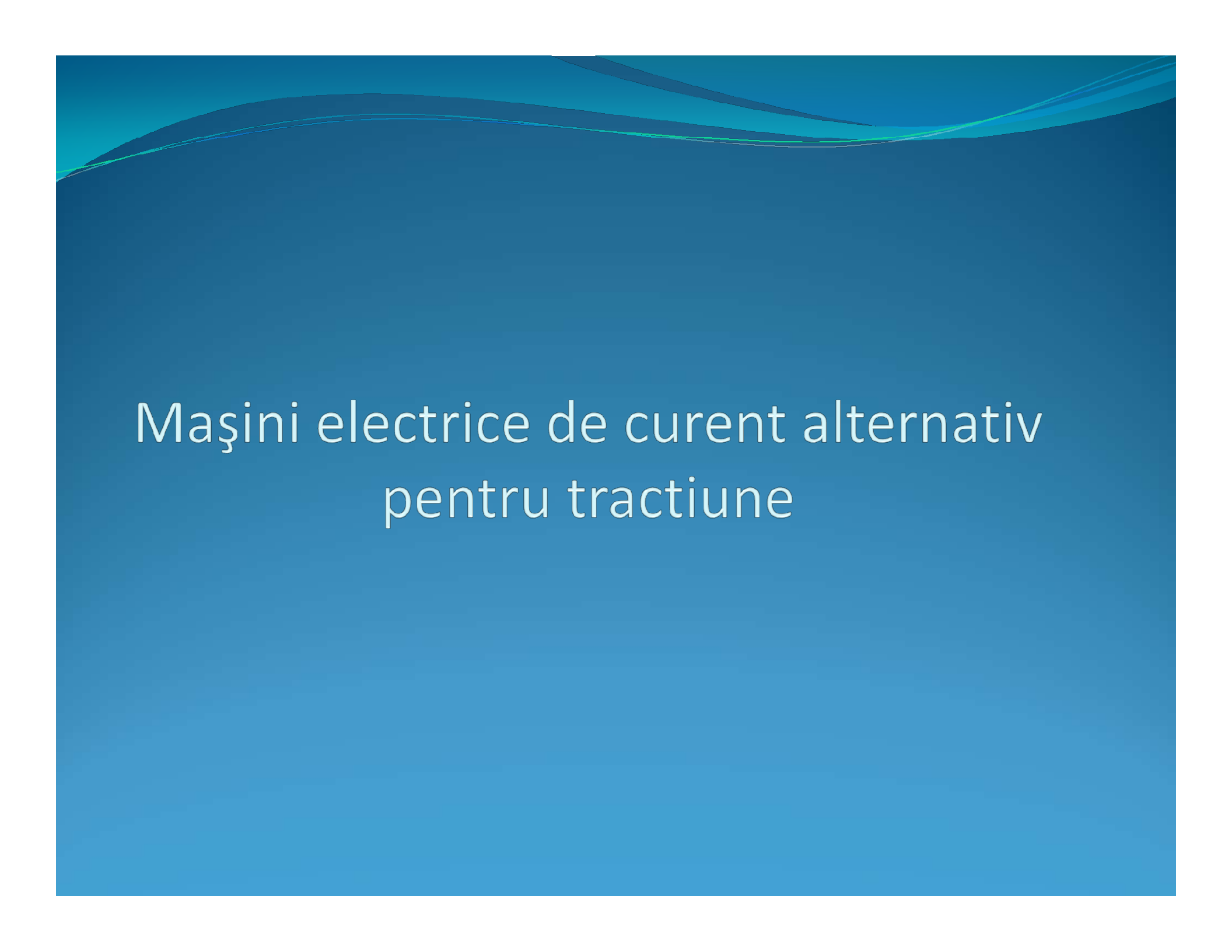
Schema unui motor de c. c. cu excitație mixtă (compund)

$$n = \frac{U}{k_e(\phi_d \pm \phi_s)} - \frac{R_l}{k_e(\phi_d \pm \phi_s)^2} M_e$$



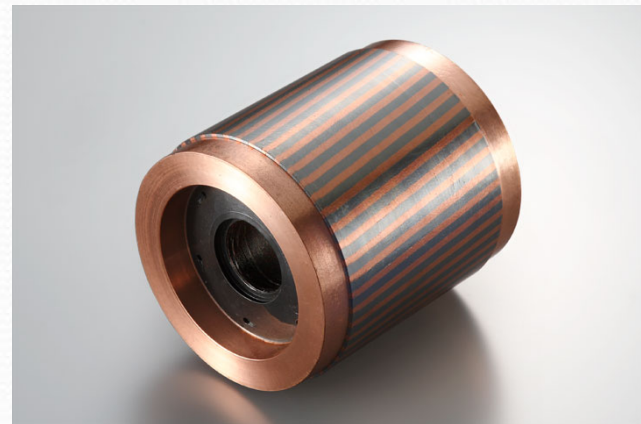
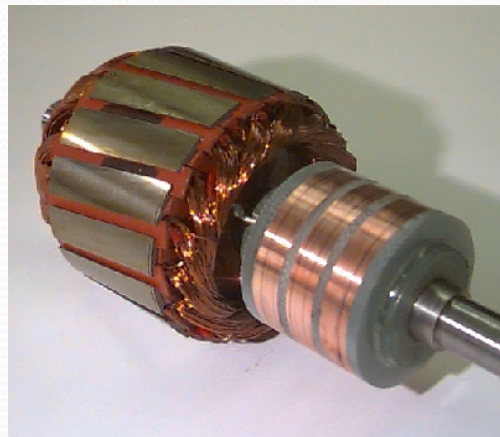
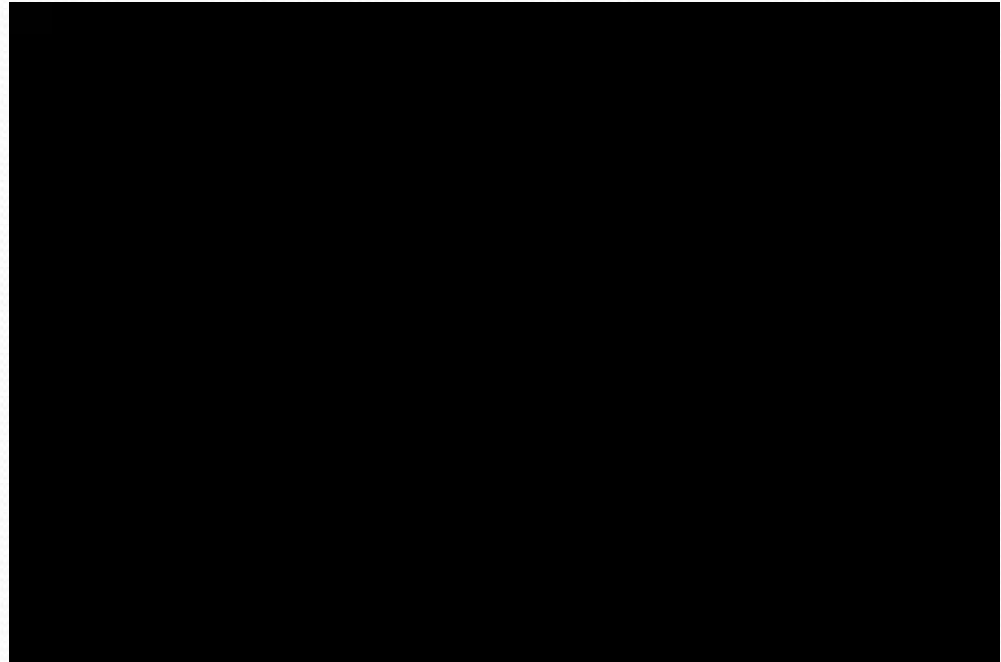
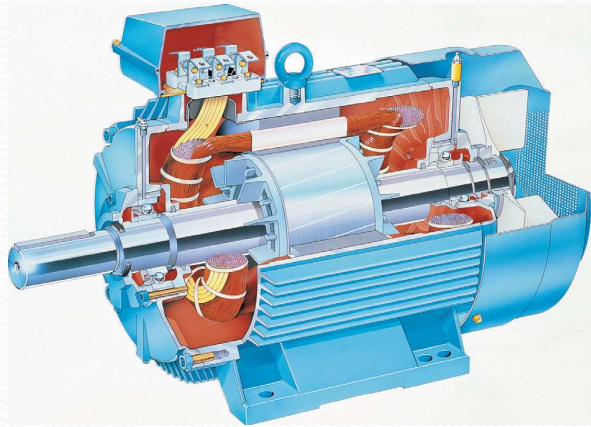
Caracteristicile de funcționare a motoarelor cu excitație mixtă

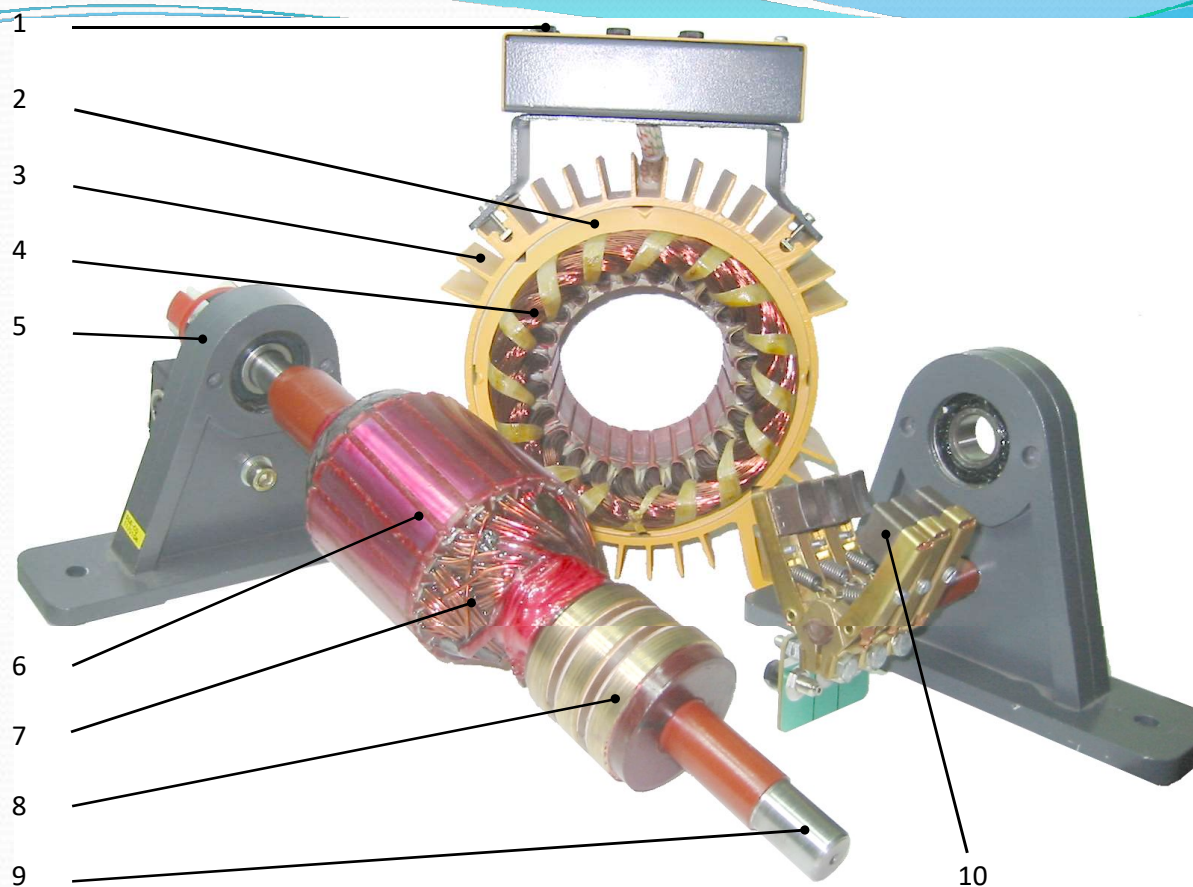




# Mașini electrice de curent alternativ pentru tractiune

# Mașini electrice asincrone



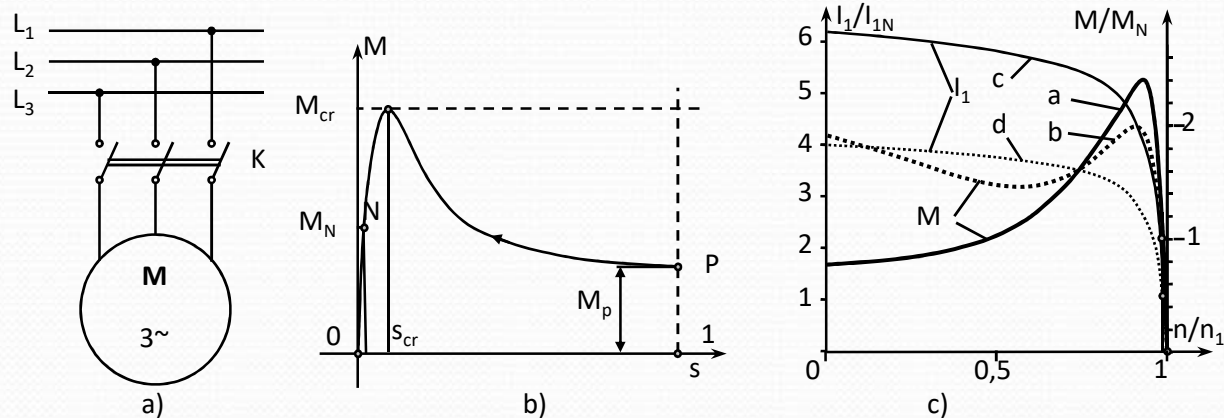


Mașină asincronă cu rotor bobinat – variantă didactică

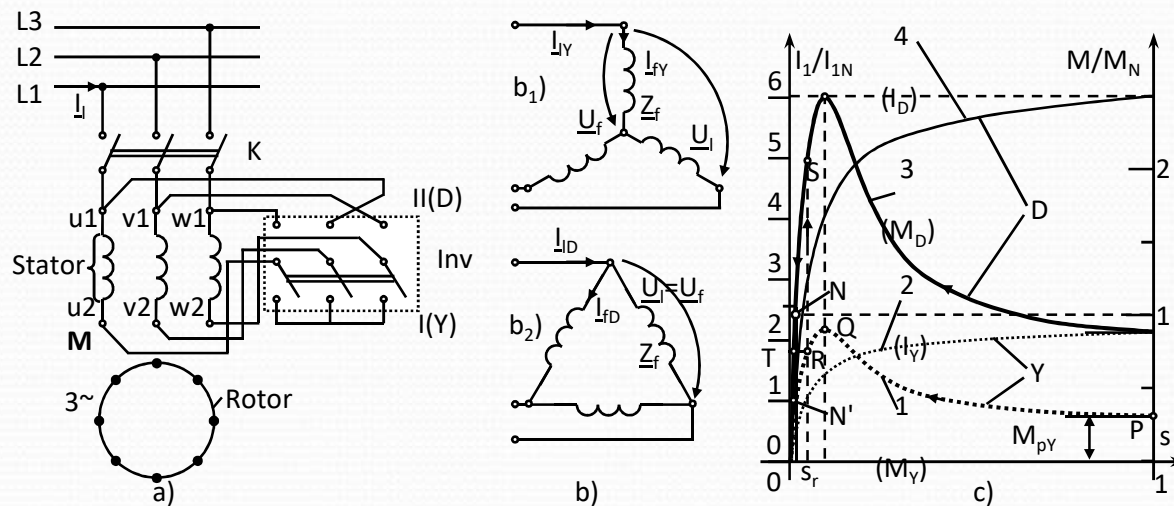
1 – placă de borne; 2- jug statoric; 3 – aripioare de răcire; 4 – înfășurare statorică;

5 – suport lagăr; 6 – rotor; 7 – înfășurare rotorică; 8 – inele; 9 – ax; 10 – perie.

# Pornirea motoarelor asincrone trifazate

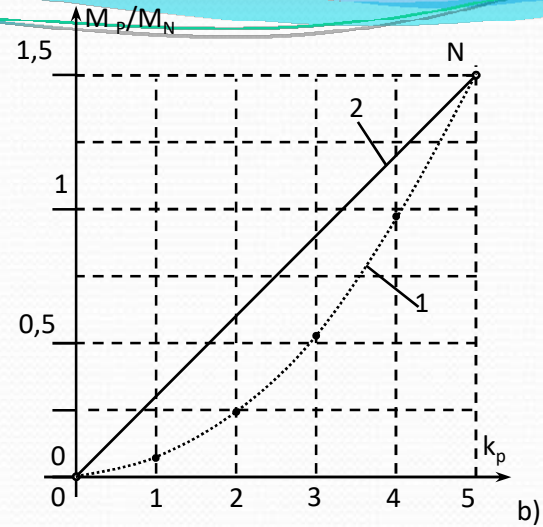
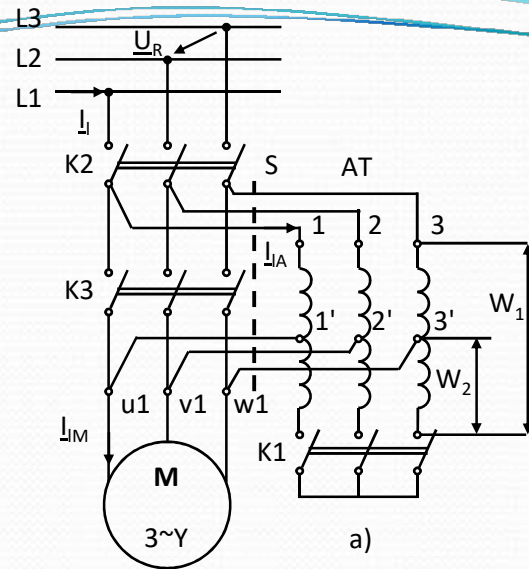


Pornirea directă a motoarelor asincrone trifazate

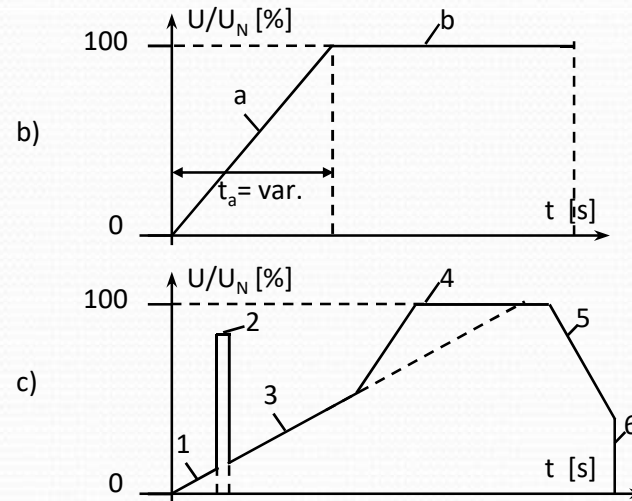
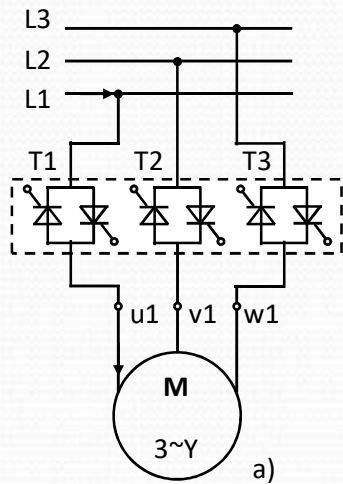


Pornirea cu comutator stea-triunghi a motoarelor asincrone trifazate

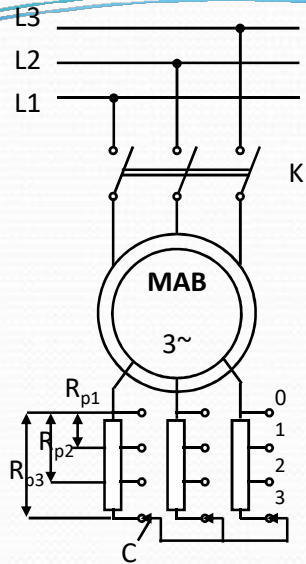




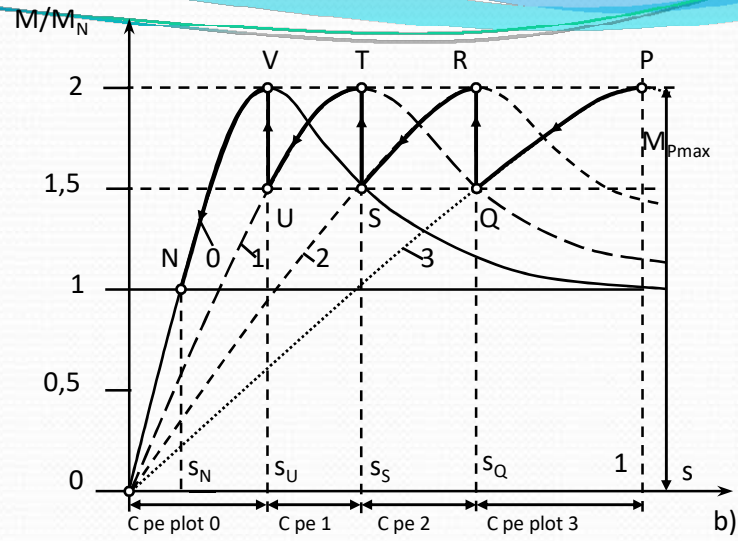
Pornirea motoarelor asincrone cu autotransformator și reactanță înseriată



Pornirea motoarelor asincrone cu soft-startere

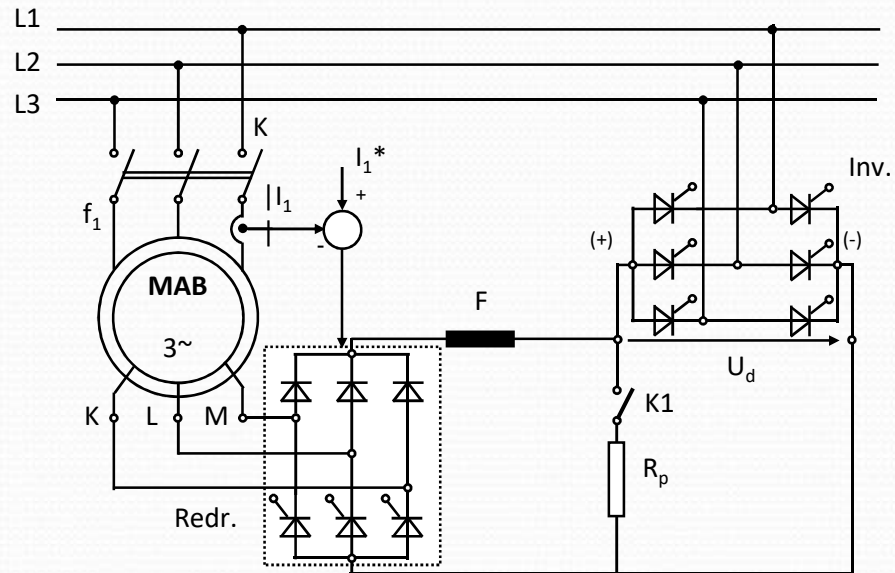


a)

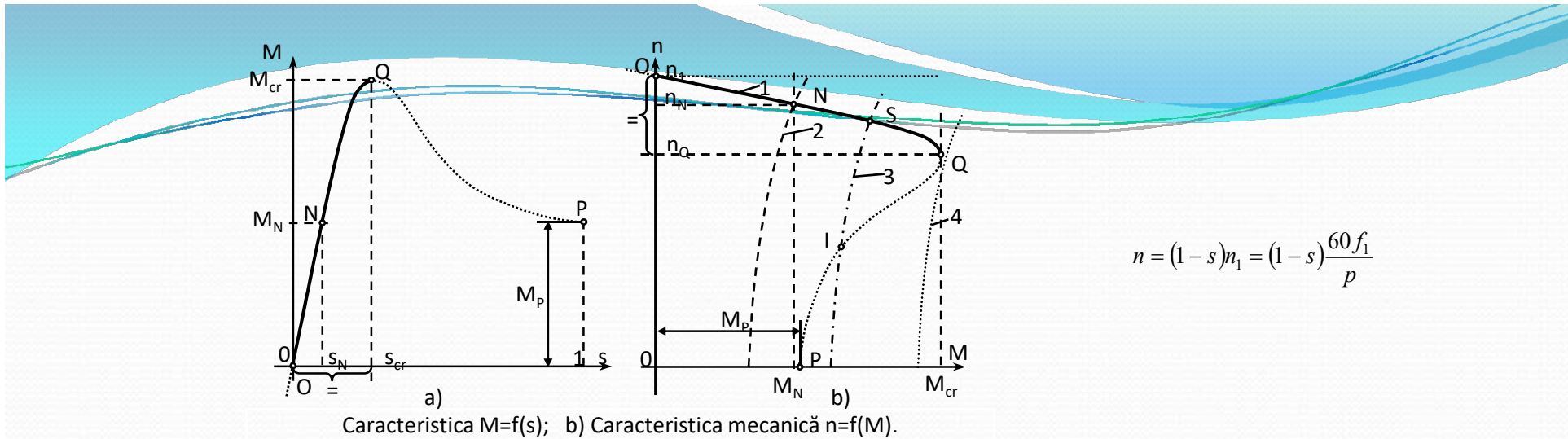


b)

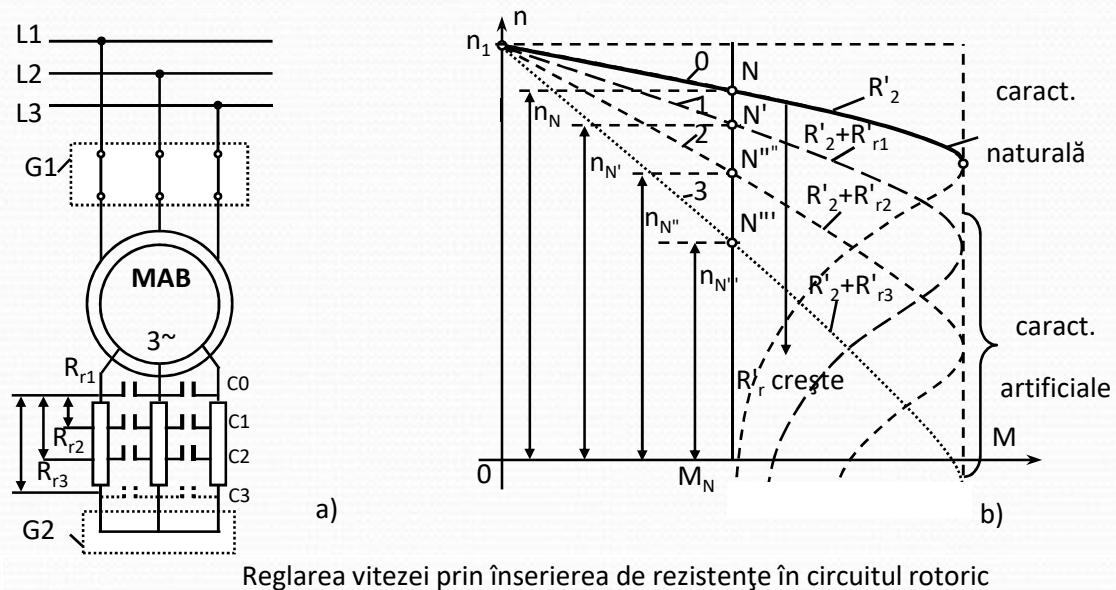
### Pornirea motoarelor asincrone cu rotor bobinat



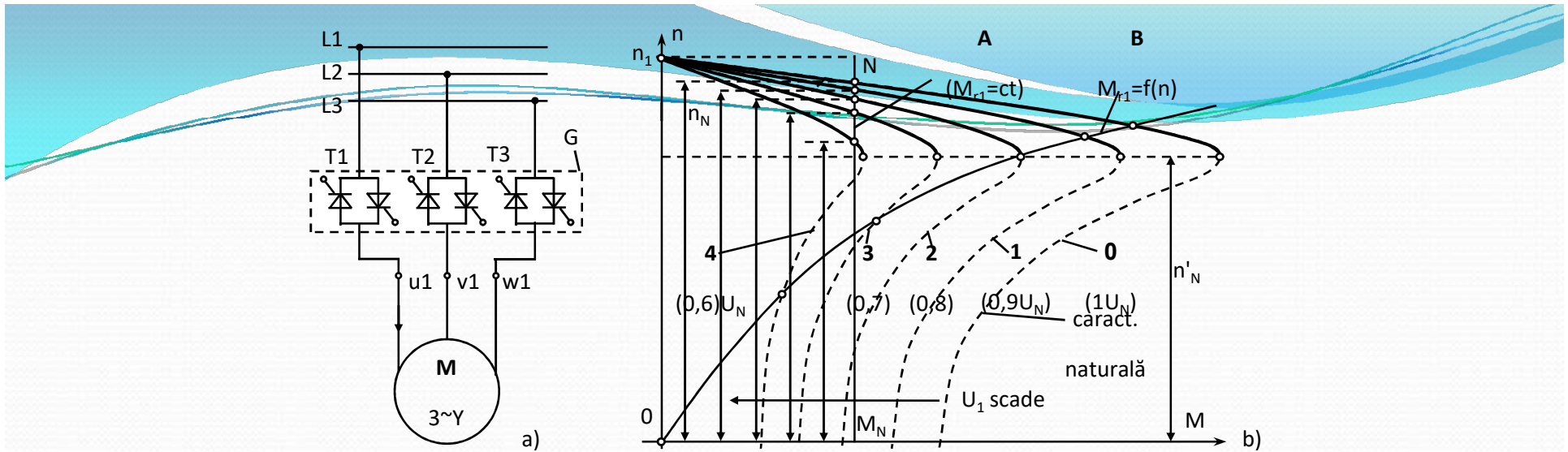
### Pornirea cu rezistență rotorică comandată electronic



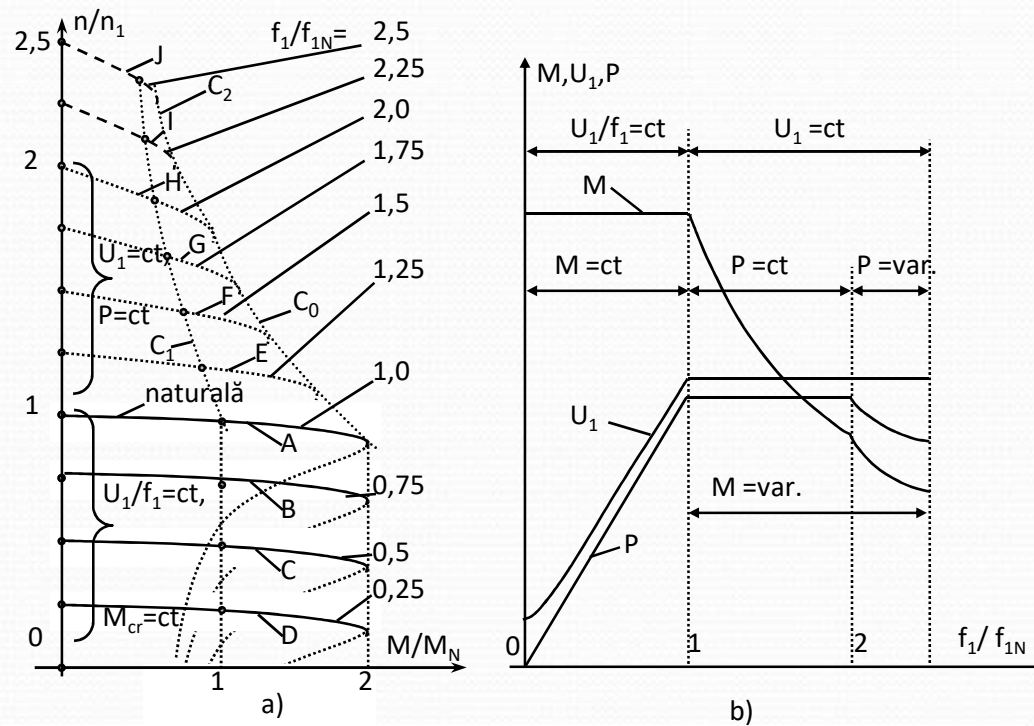
## Reglajul turației motoarelor asincrone trifazate







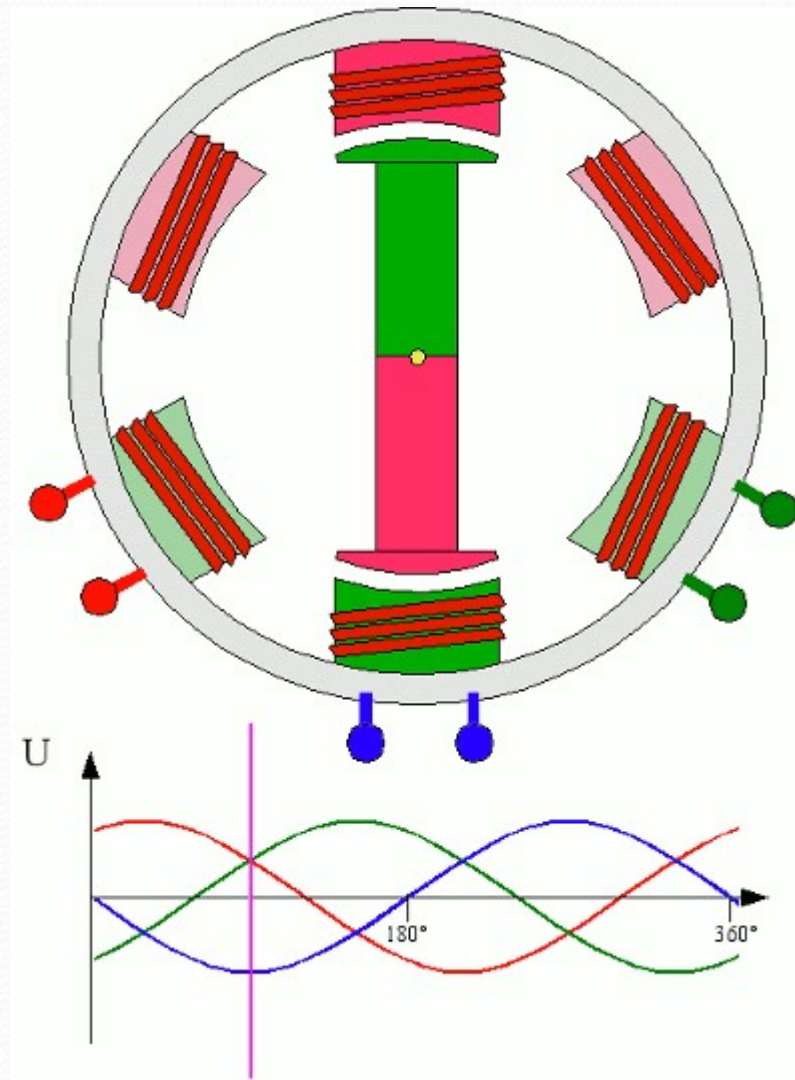
Reglarea vitezei motoarelor în colivie prin modificarea alunecării

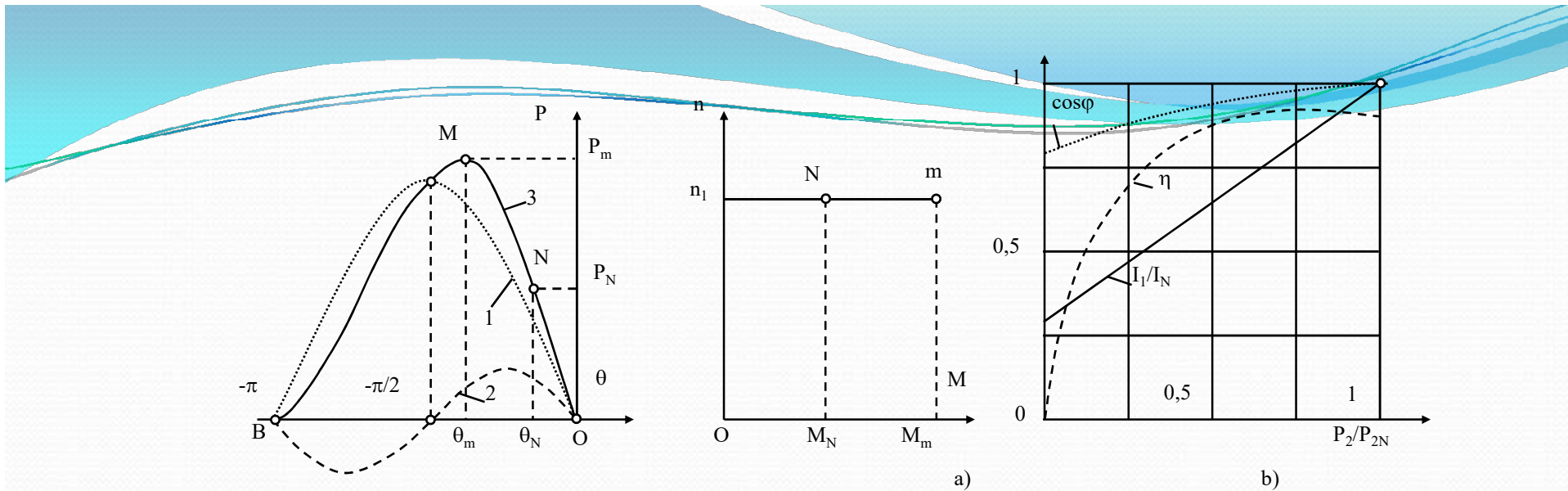


Caracteristicile motoarelor asincrone la comanda în frecvență



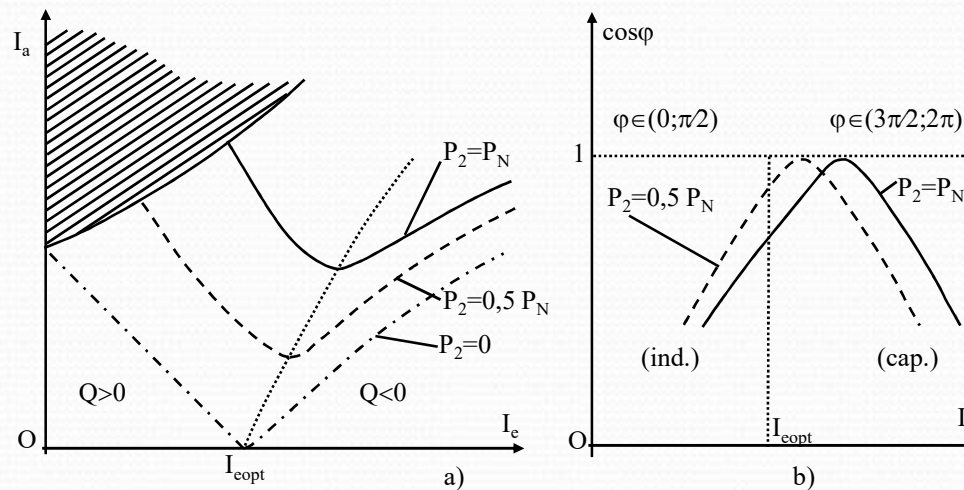
# Maşini electrice sincrone





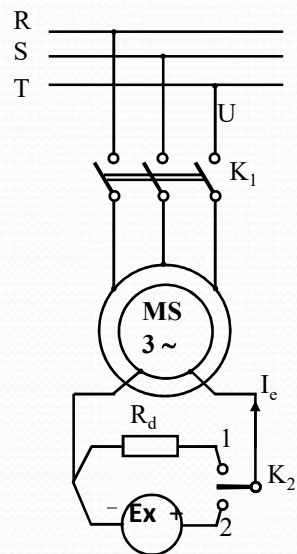
Caracteristica unghiulară la un motor sincron

Caracteristicile unui motor sincron: a) mecanică, b) în sarcină-în funcție de puterea utilă

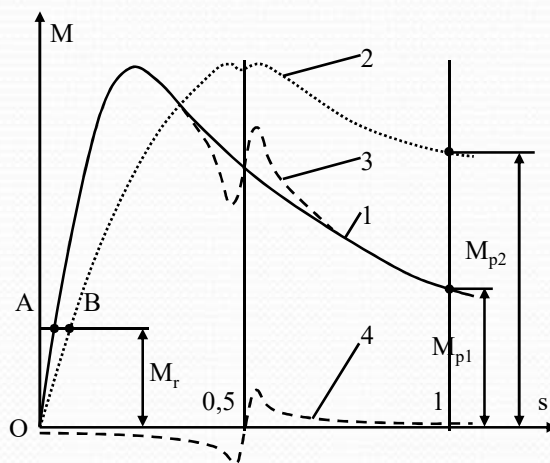


Curbele în V ale motorului sincron

## Pornirea motoarelor sincrone



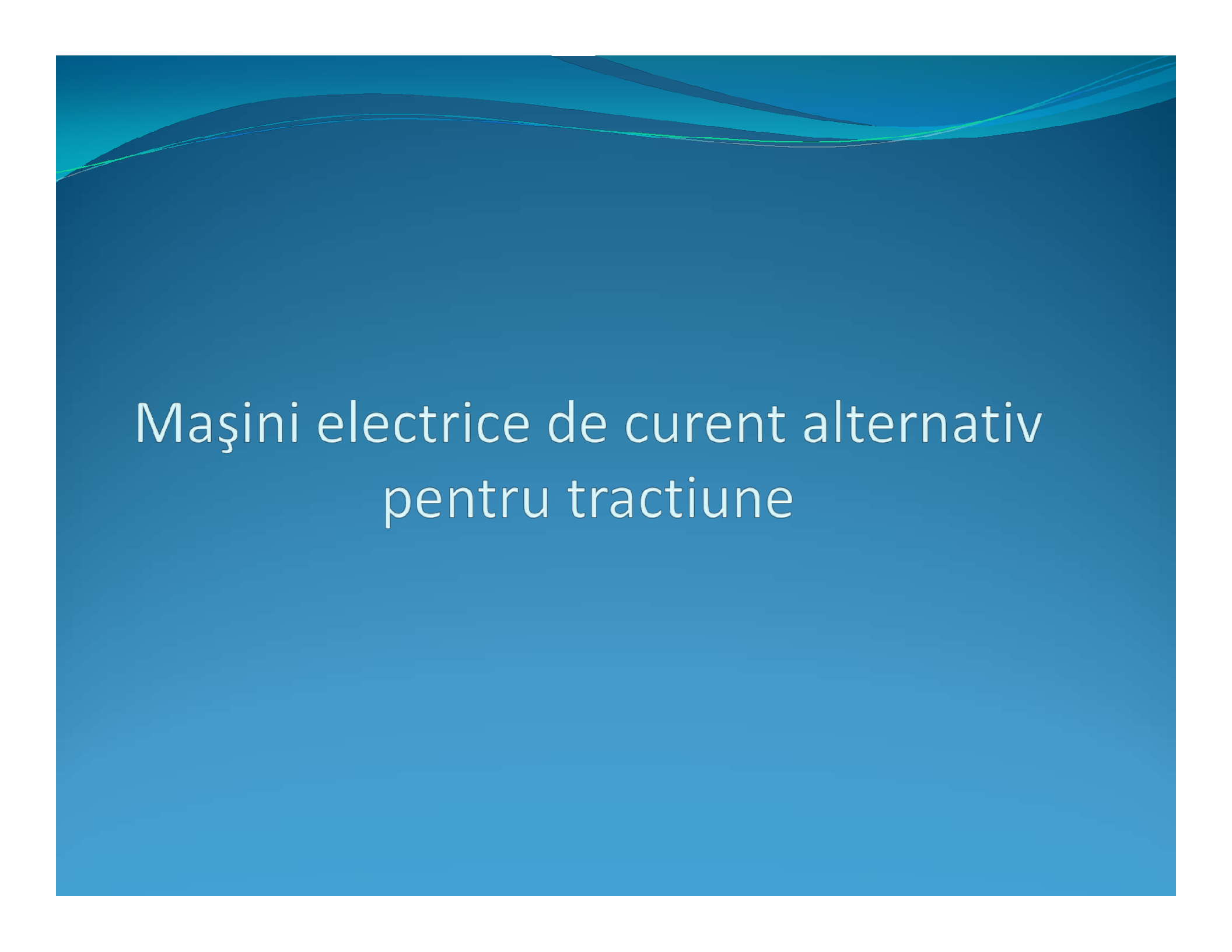
Pornirea directă a motorului sincron



Caracteristici de pornire în asincron a motorului sincron

## Reglajul vitezei motorului sincron

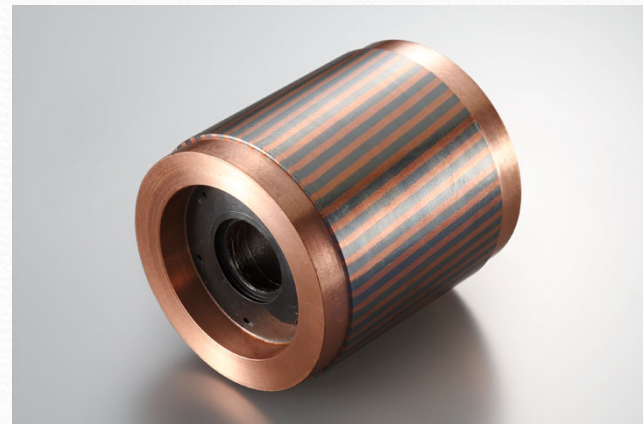
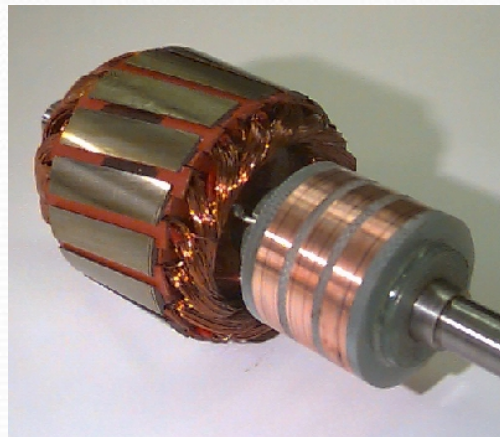
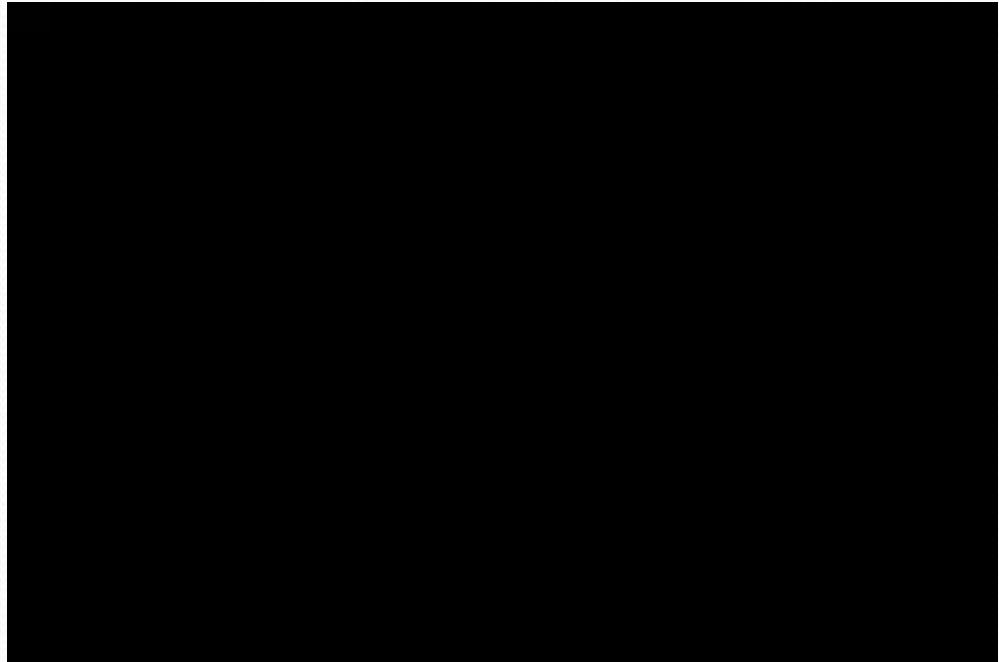
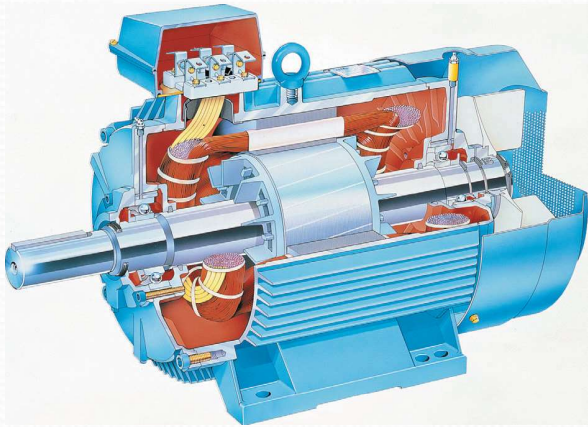
$$n_1 = 60f_1 / p$$

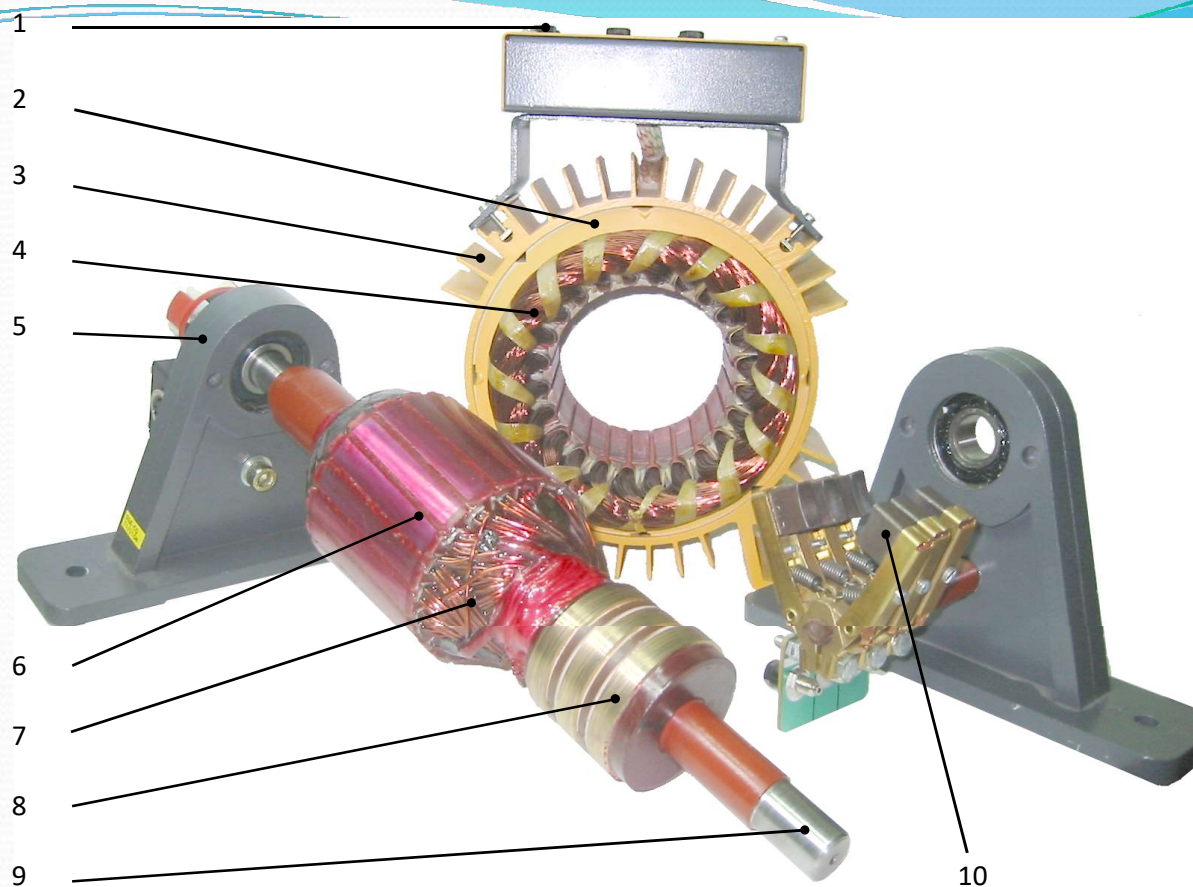


# Mașini electrice de curent alternativ pentru tractiune



# Maşini electrice asincrone



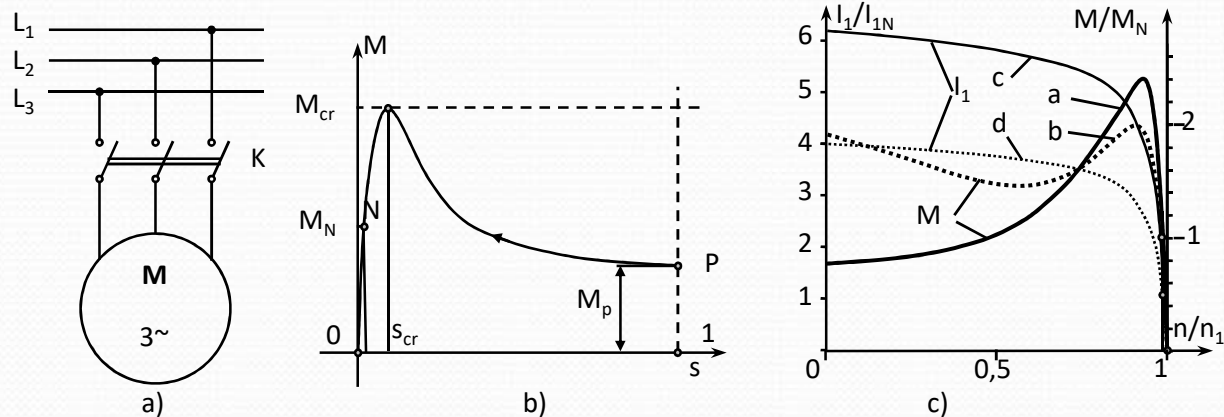


Mașină asincronă cu rotor bobinat – variantă didactică

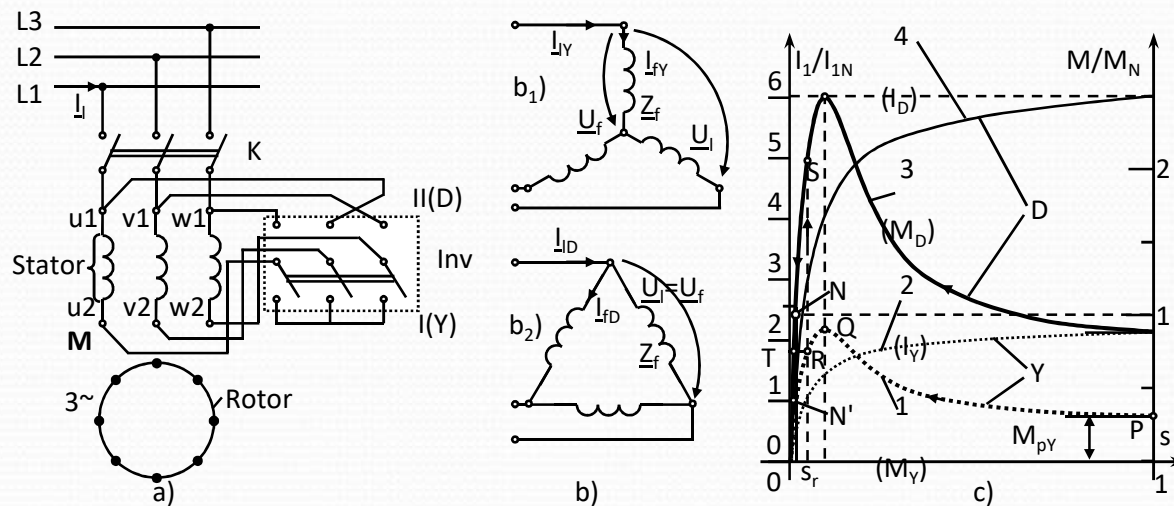
1 – placă de borne; 2- jug statoric; 3 – aripioare de răcire; 4 – înfășurare statorică;

5 – suport lagăr; 6 – rotor; 7 – înfășurare rotorică; 8 – inele; 9 – ax; 10 – perie.

# Pornirea motoarelor asincrone trifazate

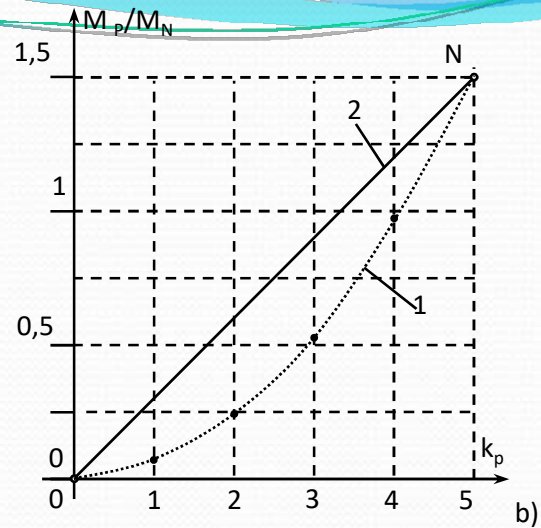
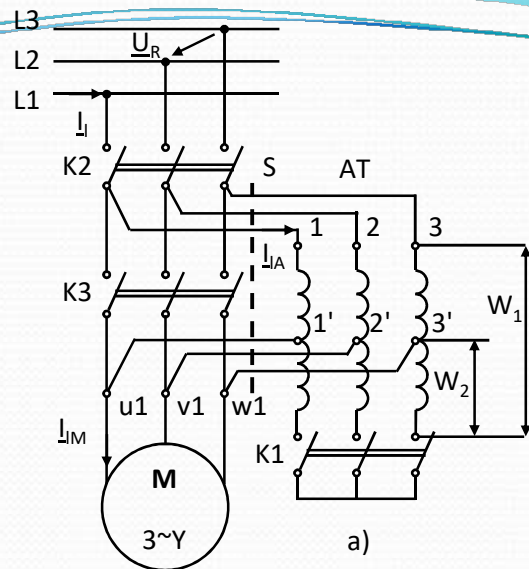


Pornirea directă a motoarelor asincrone trifazate

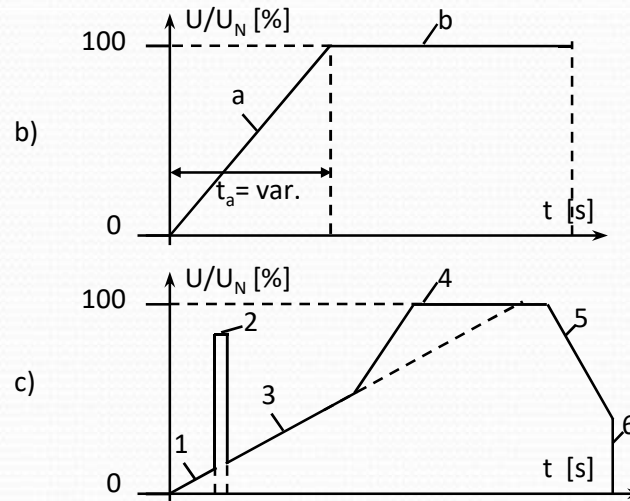
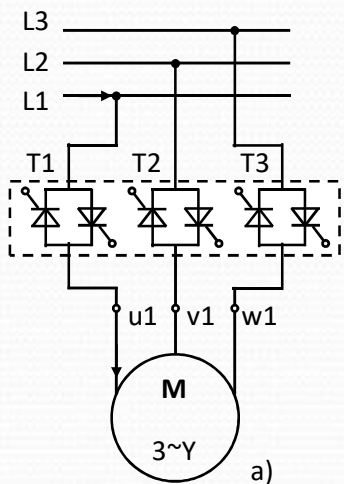


Pornirea cu comutator stea-triunghi a motoarelor asincrone trifazate



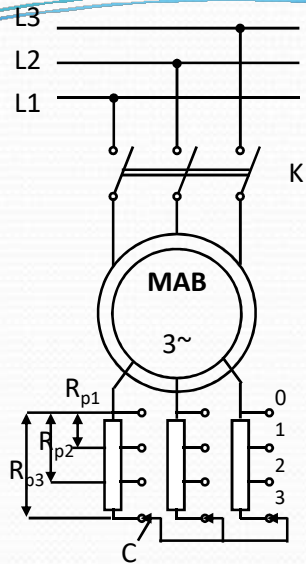


Pornirea motoarelor asincrone cu autotransformator și reactanță înseriată

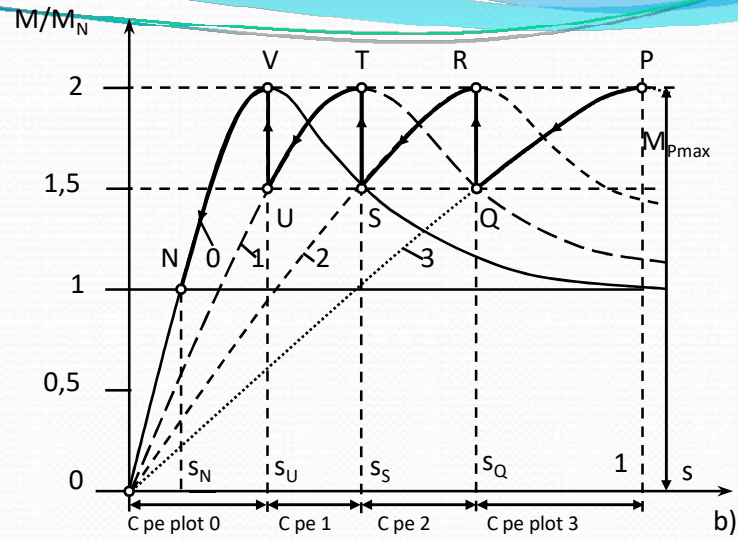


Pornirea motoarelor asincrone cu soft-startere



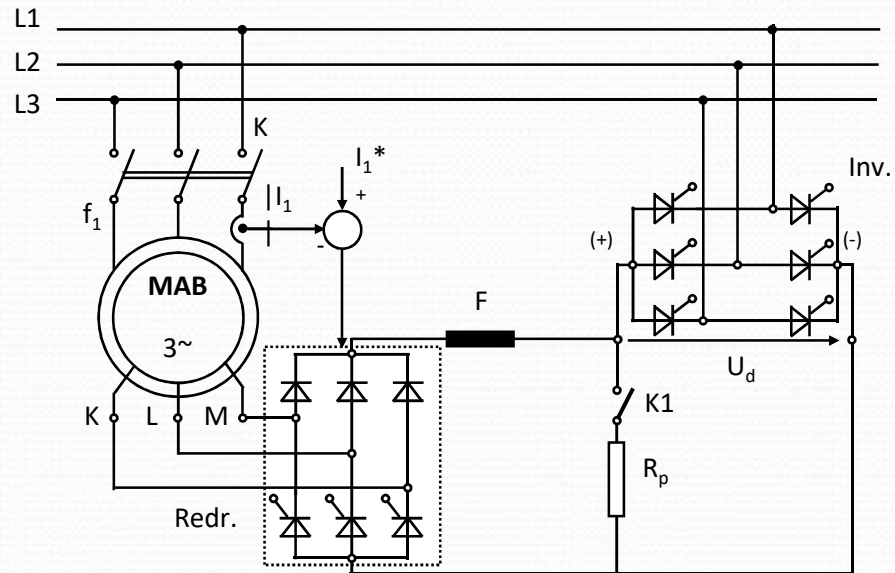


a)

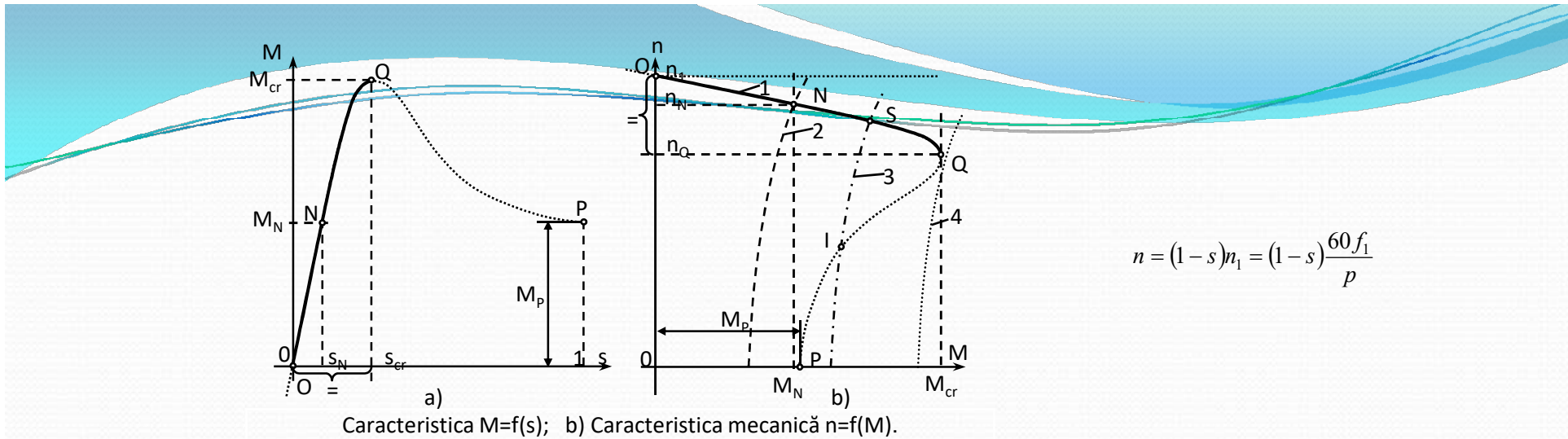


b)

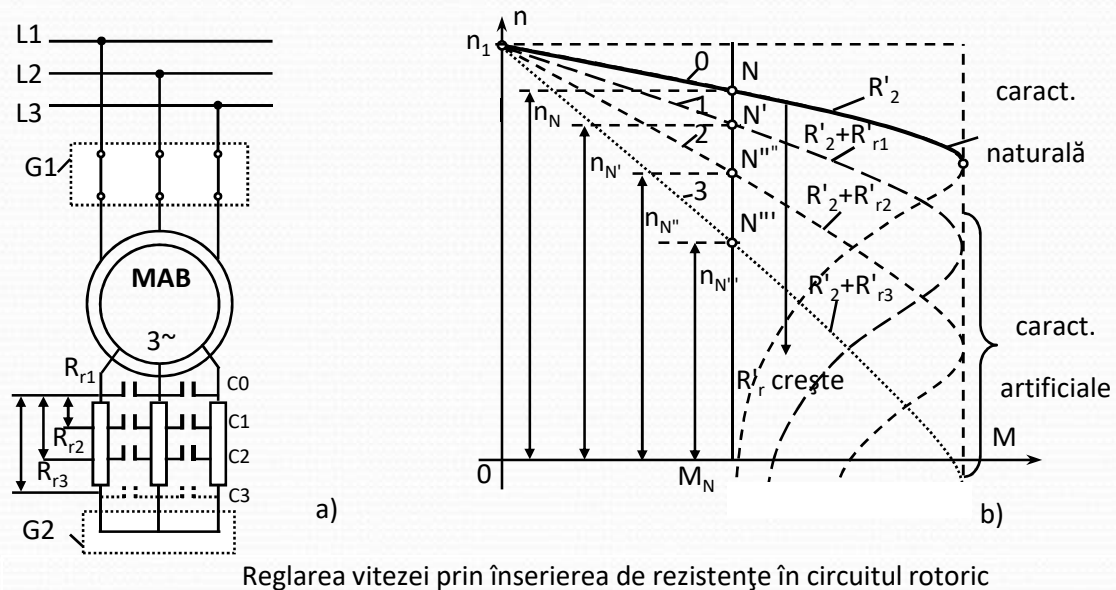
### Pornirea motoarelor asincrone cu rotor bobinat

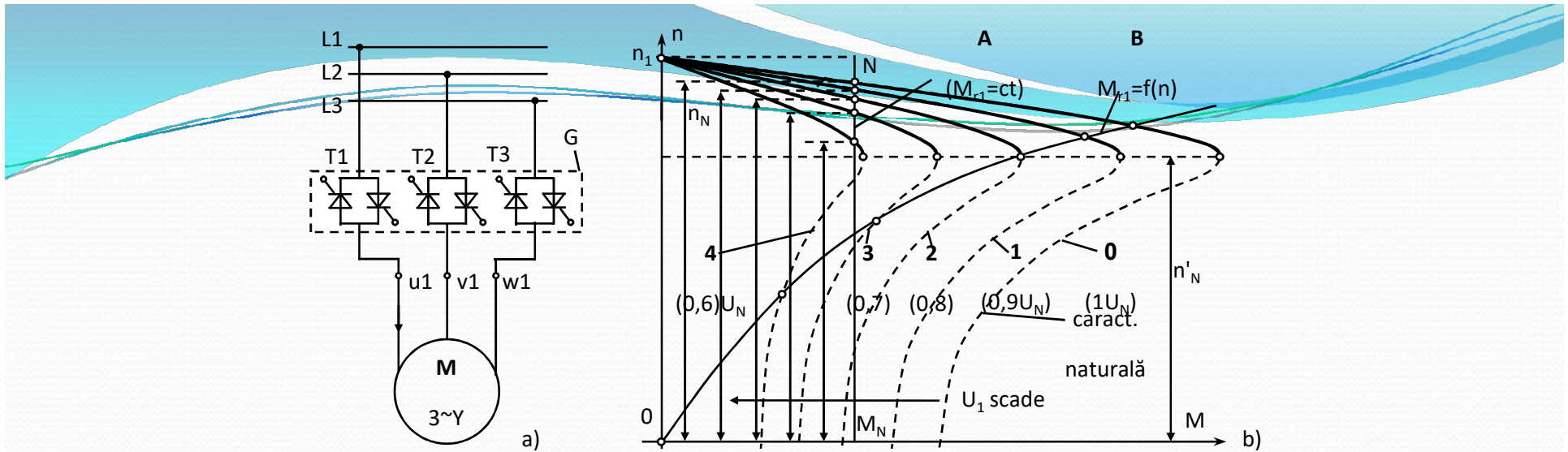


### Pornirea cu rezistență rotorică comandată electronic

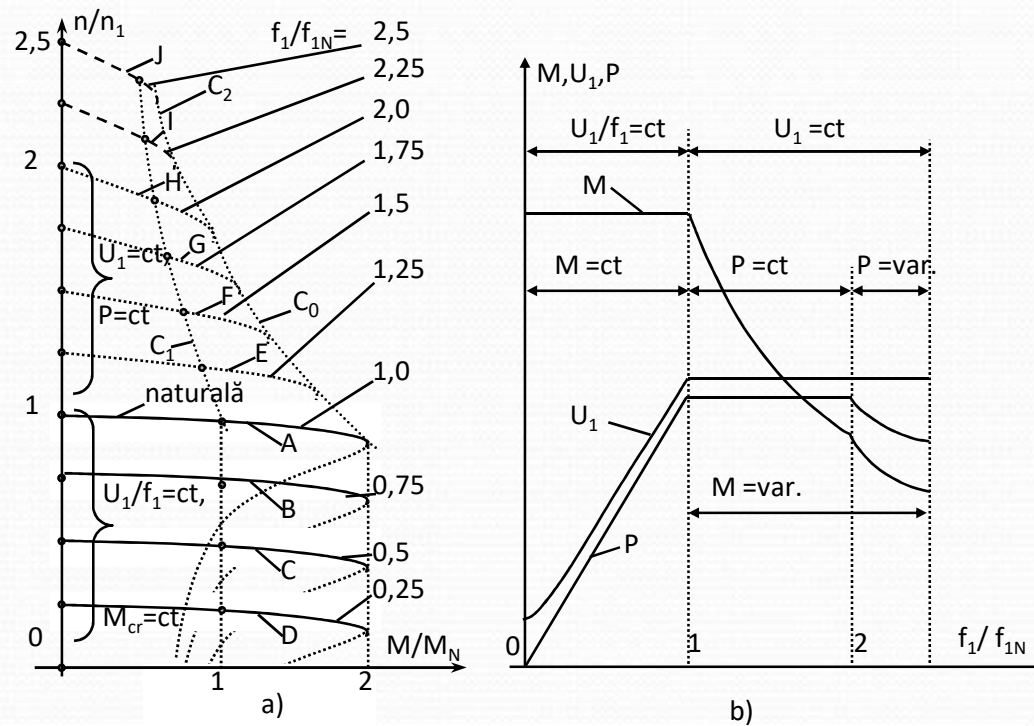


## Reglajul turației motoarelor asincrone trifazate





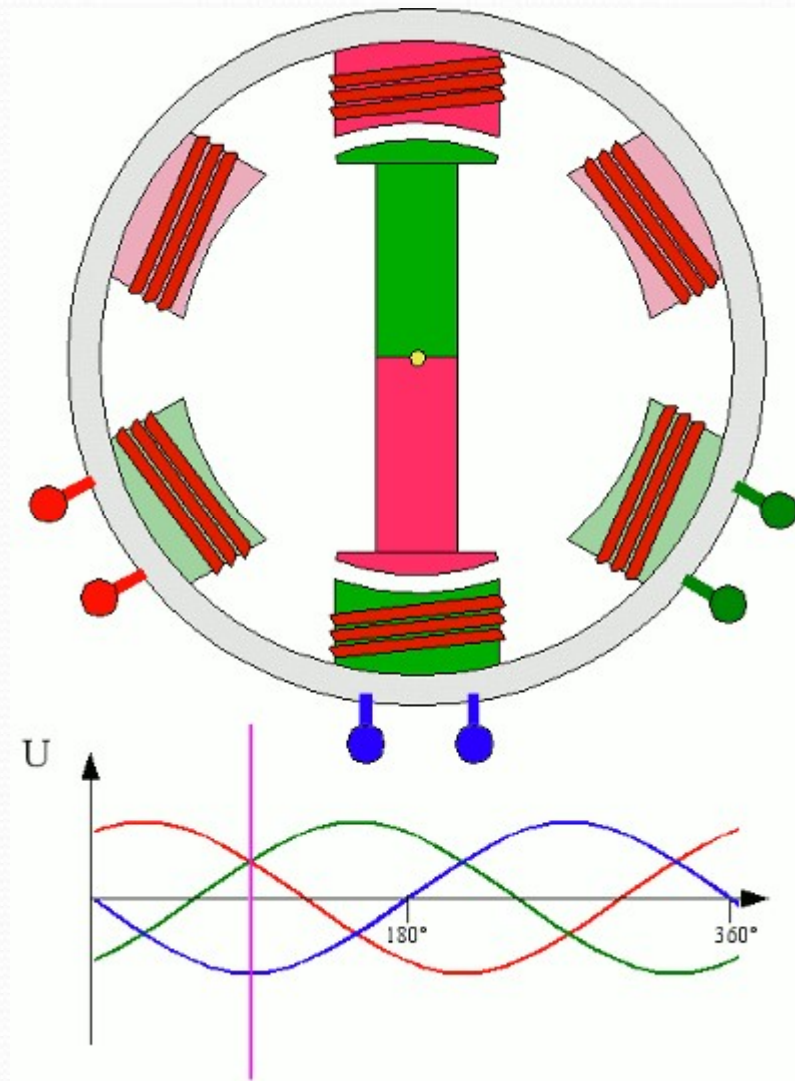
Reglarea vitezei motoarelor în colivie prin modificarea alunecării



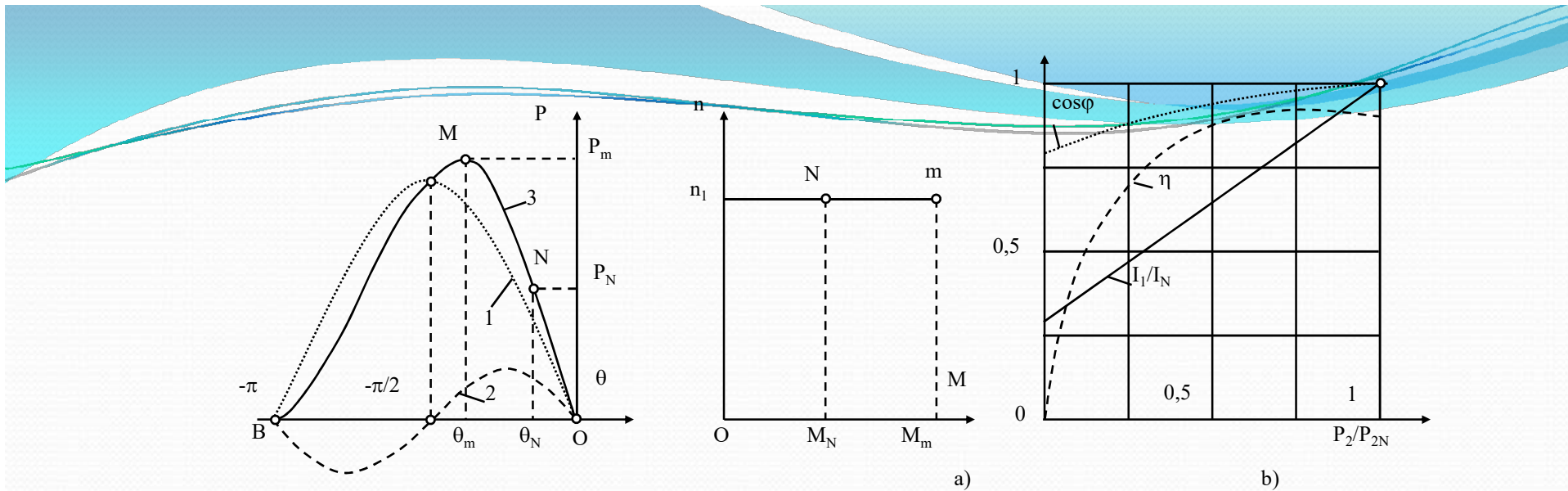
Caracteristicile motoarelor asincrone la comanda în frecvență



# Maşini electrice sincrone

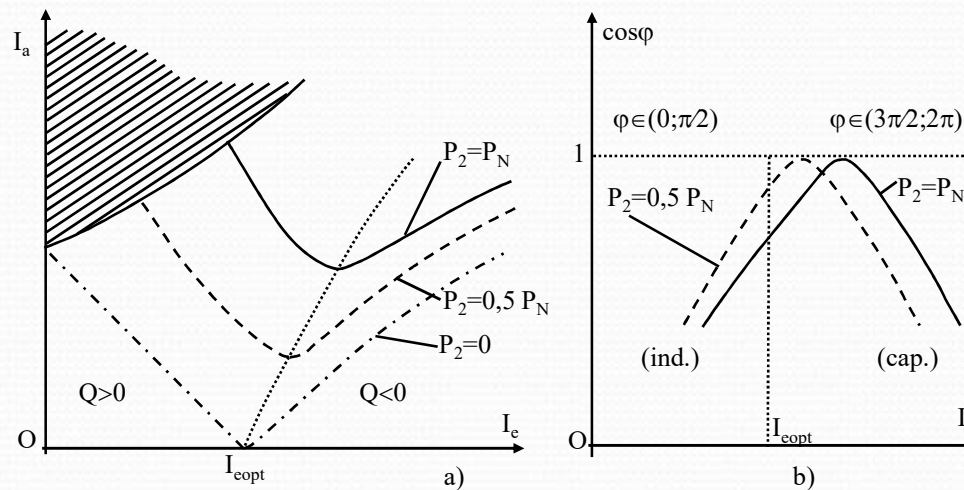






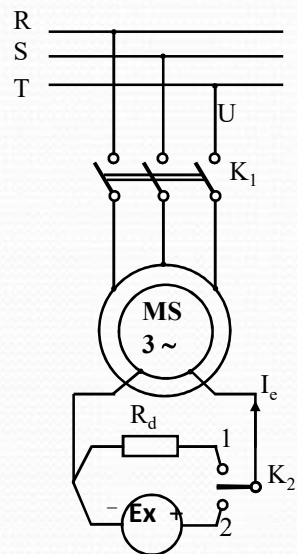
Caracteristica unghiulară la un motor sincron

Caracteristicile unui motor sincron: a) mecanică, b) în sarcină-în funcție de puterea utilă

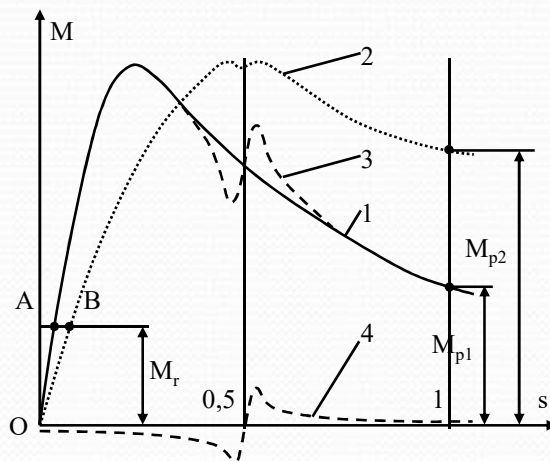


Curbele în V ale motorului sincron

## Pornirea motoarelor sincrone



Pornirea directă a motorului sincron



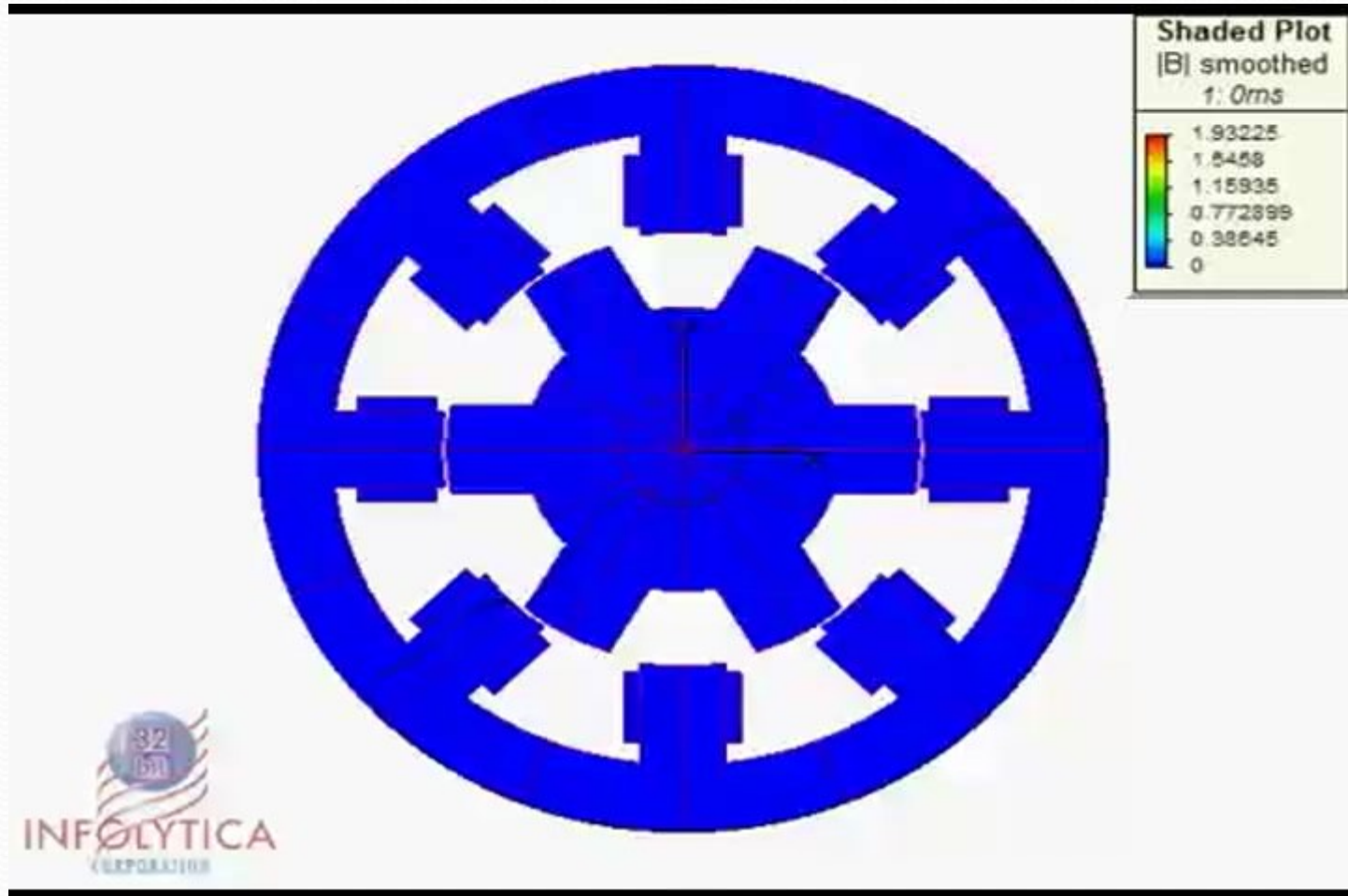
Caracteristici de pornire în asincron a motorului sincron

## Reglajul vitezei motorului sincron

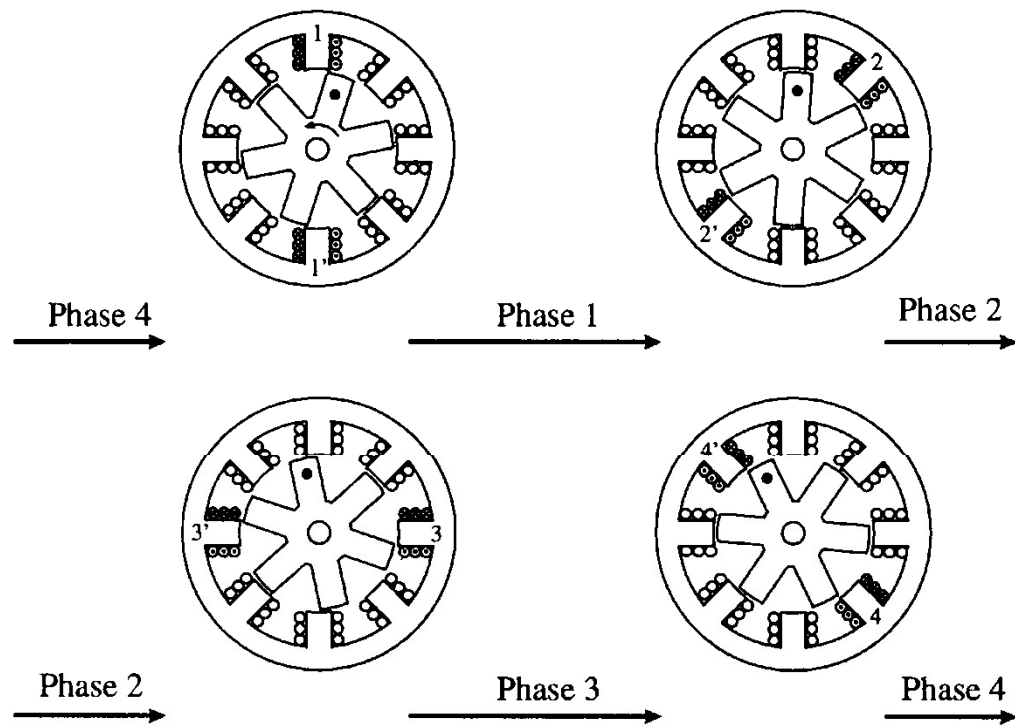
$$n_1 = 60f_1 / p$$

# Masini electrice speciale utilizate in tractiunea electrica

# SRM

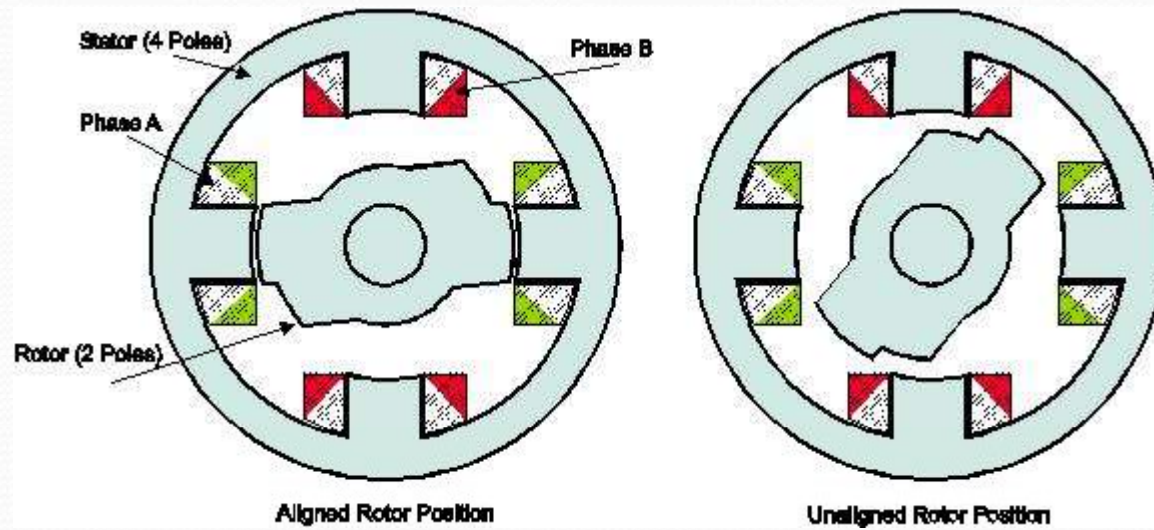




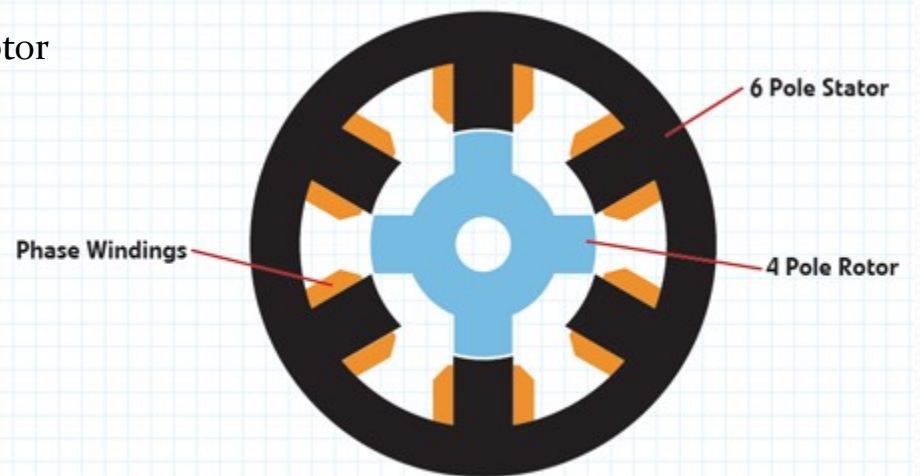


Deplasarea rotorului la alimentarea consecutivă a celor patru faze ale unui SRM cu 8/6 poli.

## Diferite variante ale SRM



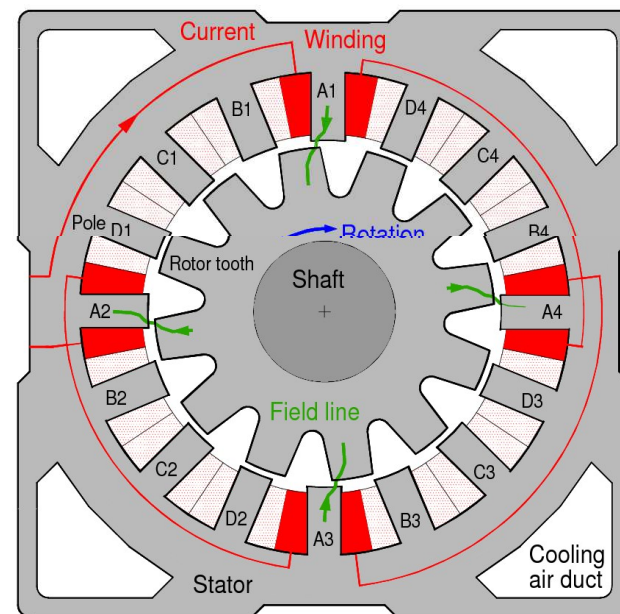
motor bifazat cu patru poli pe stator și doi pe rotor



motor trifazat cu 6/4 poli



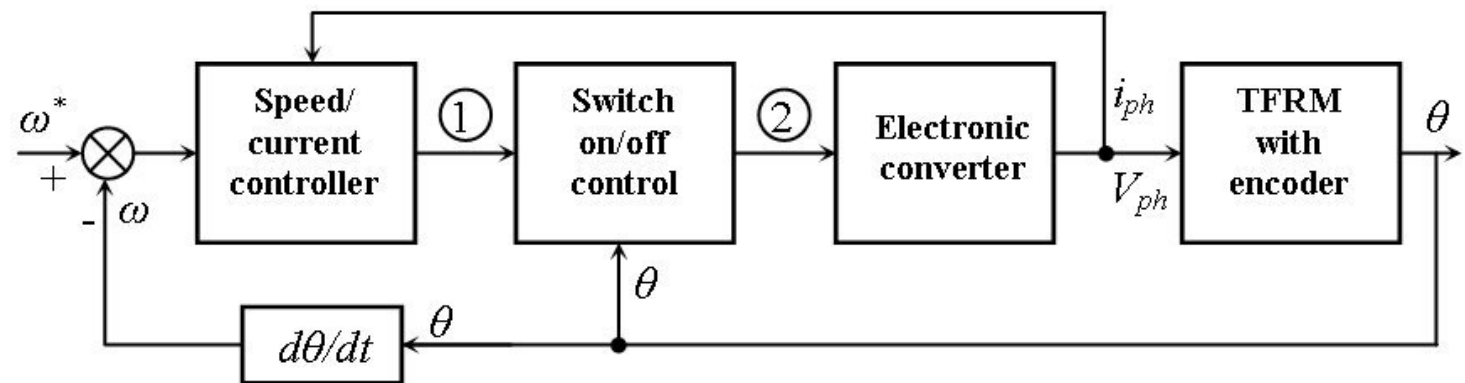
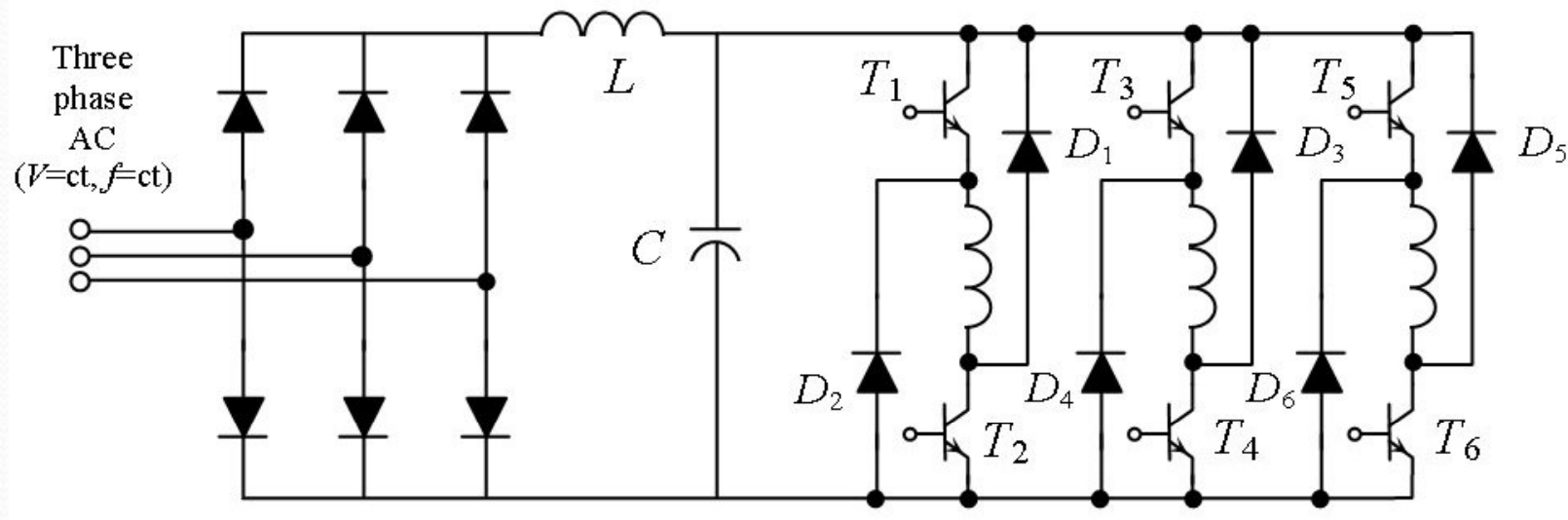
motor cu 4 faze și 8/6 poli



motor cu patru faze și 16/12 poli

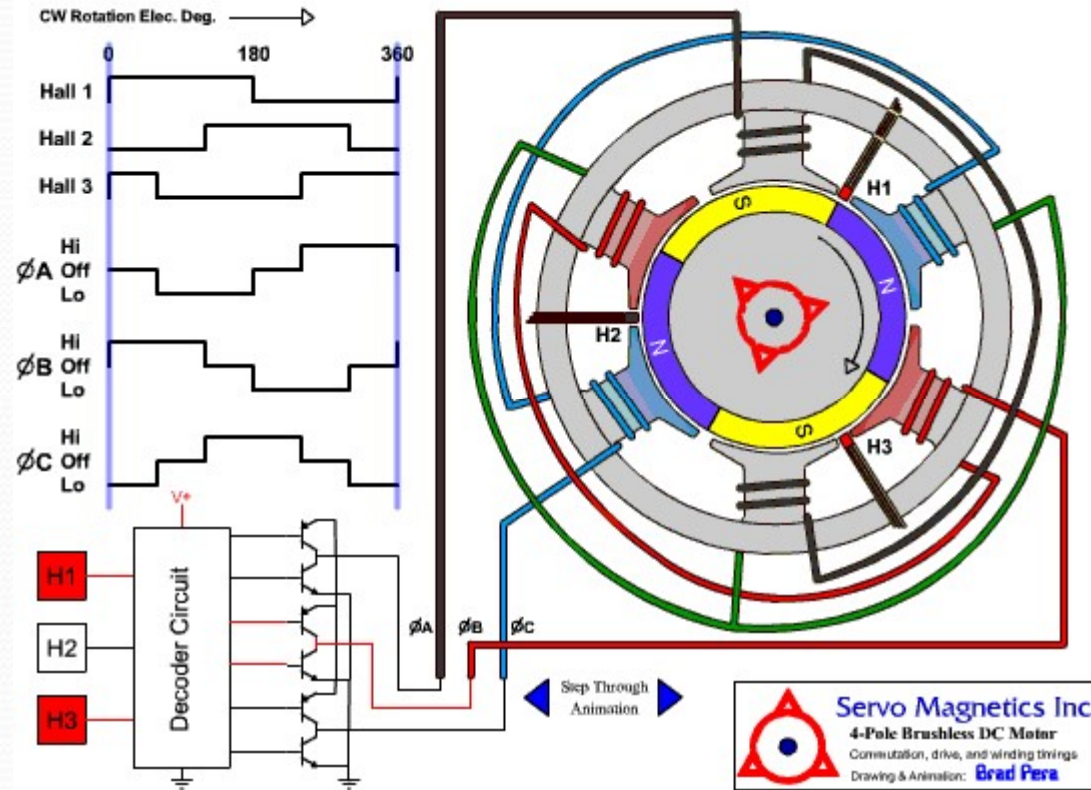


# Alimentarea și comanda SRM

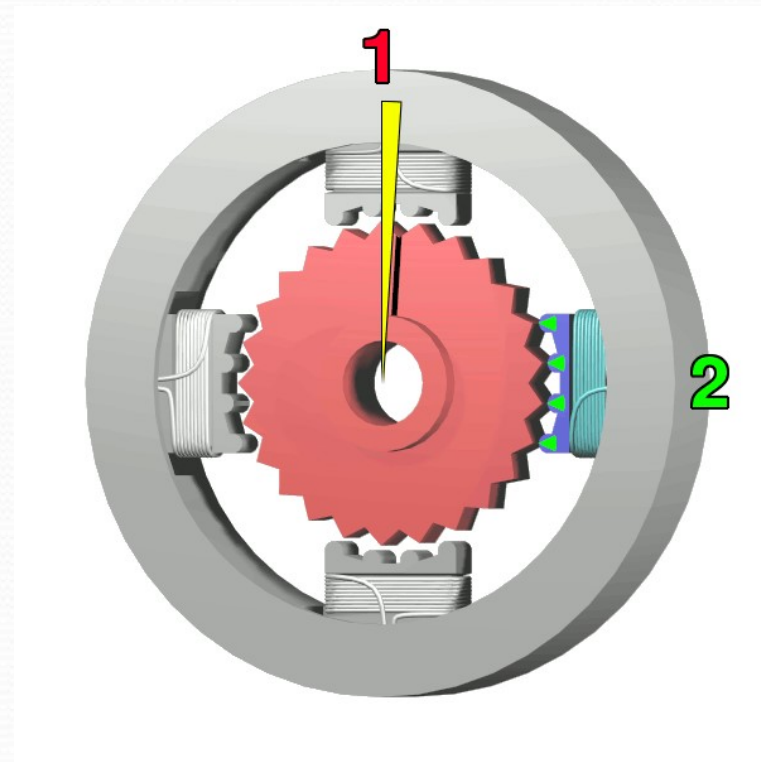
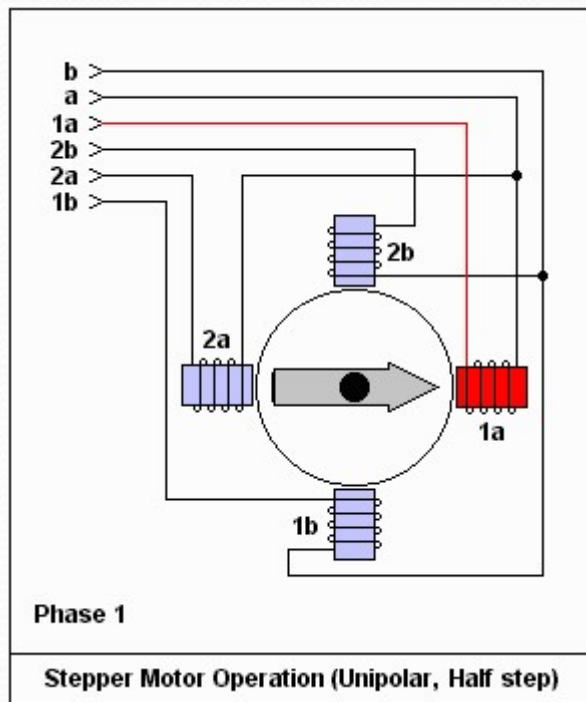




# BLDC



# MOTOARELE PAS CU PAS





## Avantajele MPP:

- asigură univocitatea conversiei impuls-deplasare, ceea ce permite folosirea MPP în circuit deschis de poziționare (fără traductori de poziție);
- precizie și putere de rezoluție, ceea ce simplifică lanțul cinematic de acționare:
- procese tranzitorii fără pierderi de pași;
- compatibilitate cu tehnică numerică;
- memorează poziția la tipurile care dezvoltă cuplu și în repaus.

## Dezavantajele principale sunt:

- schema de alimentare și comandă trebuie adaptată la tipul MPP;
- randament scăzut;
- viteza de rotație relativ scăzută.