

ANALIZA COMPARATIVĂ A MOTOARELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU ROTORUL INTERIOR ȘI ROTORUL EXTERIOR

Ilie NUCĂ, Petru VÂRLAN, Vasili CRUDU

Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat: *Lucrarea abordează o soluție care duce la simplificarea esențială a părții mecanice a vehiculelor, prin implementarea motorului asincron cu rotorul în exterior aplicat direct pe roata autovehiculului, formând blocul motor-roată, care elimină diferențialul și micșorează masa vehiculului. În baza modelului matematic a motorului asincron în Mediul MatLab Simulink au fost studiate procesele tranzitorii a motorului asincron cu rotorul interior și rotorul exterior.*

Cuvinte cheie: *model matematic, acționare electrică, rotor interior, rotor exterior, procese tranzitorii, model matematic, simulare, MatLab, Simulink.*

1. Introducere

Motorul asincron la nivel mondial are cea mai mare pondere în consumul de energie la nivel mondial, este cel mai solicitat prin faptul că are o construcție simplă. Motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit are un randament destul de ridicat. O dată cu dezvoltarea electronicii de putere s-a dezvoltat și modul de reglare a turației motorului, cu ajutorul convertoarelor de frecvență este foarte ușor de reglat viteza motorului. La moment acționările de curent continuu foarte ușor pot fi înlocuite cu acționări de curent alternativ prin înlocuirea motoarelor de curent continuu cu cele de asincrone.

2. Scheme constructive ale motoarelor electrice asincrone de tracțiune

Motor asincron cu rotorul interior. Este construcția clasică a motorului asincron, dar cu clasa de izolație avansată (H, F) și tipul de protecție IP. Ca exemplu pot servi motoarele asincrone de tracțiune **Orion** [1], fig.1,a) cu datele de pașaport în tab.1. În acest caz structura sistemului de tracțiune al electrovehiculului se bazează pe un singur motor asincron cu transmisie și diferențial mecanice.

Tabelul 1. Datele tehnice ale motoarele asincrone cu rotor interior

Parametrii motoarelor ORION-22-2M	u.m.	- 01	- 02	- 03	- 04	- 05
M_p , cuplul de pornire (7,52 N/ cm ²)	N*m	593	790	989 _ж	1186	1579
M_n , cuplul noiminal (2,51 N/ cm ²)	N*m	198	263	330	395	526
P_n , puterea nominală	kW	41,6	55,2	68,8	82,4	110,4
$P-l$, kW-oră	kW	49,6	66,4	82,4	99,2	132,8
η , randamentul	%	96,8	97,1	97,3	97,4	97,6
N , turațiile maxime	rot/min	6000	6000	6000	6000	6000
n , turatiile nominale	rot/min	2000	2000	2000	2000	2000
P_r , puterea pe unitate de masă	kW/kg	0,52	0,58	0,63	0,66	0,71
Diametrul rotorului	mm	290	290	290	290	290
Diametrul statorului (partea activă)	mm	390	390	390	390	390
Lungimea pachetului statoric și rotoric	mm	200	220	240	260	300

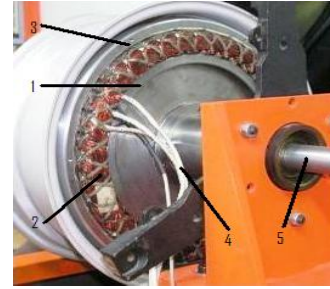
Motor asincron cu rotorul exterior. Utilizarea acestui tip de motor conduce la structuri avansate de tracțiune, simplifică partea mecanică, reduce pierderile de energie, sporește dinamica controlului, micșorează masa vehiculului. De exemplu, motoarele **TheWheel SM700** [2], fig.1,b) se

realizează pentru viteze reduse 500 sau 625 rpm, clasa de izolație H și de protecție IP54, pot fi cu ventilație forțată cu aer sau apă (tab 2.).

Motorul asincron cu rotorul exterior este compact, permite integrarea directă pe roată, amplasarea anvelopei pe rotorul motorului și excluderea transmisiilor mecanice. Aplicarea la fiecare roată a câte un motor oferă posibilitatea controlării și echilibrării autovehicolului. Controlul turației fiecărei roți se realizează cu ajutorul convertorului de frecvență individual, prin care esențial se reduce consumul de energie.



a)



b)

Fig. 1 MA de tracțiune cu rotor: a) interior **ORION-22-2M** b) exterior **TheWheel SM700/3**

Tabelul 2. Datele tehnice ale motoarelor asincrone cu rotor exterior

Parameters	TheWheel SM700/2				TheWheel SM700/3			
<i>Voltage</i>	96	192	384	768	96	192	384	768
<i>RPM Y</i>	55	90	165	330	40	65	125	250
<i>RPM A</i>	95	155	284	568	69	112	215	430
<i>Field Weakening Y</i>	120	235	465	NA	90	175	350	NA
<i>Field Weakening A</i>	206	404	800	NA	155	301	602	NA
<i>KW</i>	30.0	65.0	95.0	190	40.0	80.0	120.0	240
<i>AMP - nominal</i>	300A				300A			
<i>AMP - peak</i>	1,000A				1,000A			
<i>Torque - nominal range</i>	3,900 to 5,400 Nm				5,200 to 7,200 Nm			
<i>Torque - peak</i>	10,000 Nm				15,000 Nm			
<i>Weight</i>	FE: 750 kg		AL: 625 kg		FE: 850 kg		AL: 725 kg	
<i>Max. Load</i>	30 TON		7.5 TON		30 TON		7.5 TON	
<i>Nominal Load</i>	15 TON		5 TON		15 TON		5 TON	
<i>Diameter</i>	715 mm, tire 455/45 R30"				715 mm, tire 455/45 R30"			
<i>Length</i>	525 mm				625 mm			
<i>Max. Revolutions</i>	665 RPM				500 RPM			
<i>Cooling</i>	Air, contact and water							
<i>Protection</i>	IP54 - or higher							
<i>Isolation Class</i>	H							

3. Modelul matematic al motorului asincron de tracțiune cu rotor interior/exterior

Comportarea motoarelor asincrone în regimuri dinamice se descriu cu ecuații diferențiale ordinare. Conform [3], modelul matematic al motorului asincron poate fi adus la forma Cauchi (ecuațiile de stare) față de fluxuri și viteză unghiulară:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\psi_{sd}}{dt} &= -R_s \cdot \frac{L_r}{\Delta} \psi_{sd} + R_s \cdot \frac{L_m}{\Delta} \psi_{rd} + u_{sd} & \frac{d\psi_{rd}}{dt} &= R_r \cdot \frac{L_m}{\Delta} \psi_{sd} - R_r \cdot \frac{L_s}{\Delta} \psi_{rd} - \omega \cdot \psi_{rq} \\
 \frac{d\psi_{sq}}{dt} &= -R_s \cdot \frac{L_r}{\Delta} \psi_{sq} + R_s \cdot \frac{L_m}{\Delta} \psi_{rq} + u_{sq} & \frac{d\psi_{rq}}{dt} &= R_r \cdot \frac{L_m}{\Delta} \psi_{sq} - R_r \cdot \frac{L_s}{\Delta} \psi_{rq} + \omega \cdot \psi_{rd} \\
 \frac{d\omega}{dt} &= \frac{p}{J} (m_\varepsilon - m_s) & m_\varepsilon &= \frac{3}{2} p \frac{L_m}{\Delta} (\psi_{sd} \cdot \psi_{rq} - \psi_{sq} \cdot \psi_{rd})
 \end{aligned}$$

În rezultat a fost elaborat modelul Simulink al motorului asincron cu rotor interior/exterior (fig.3) pentru studiul proceselor tranzitorii

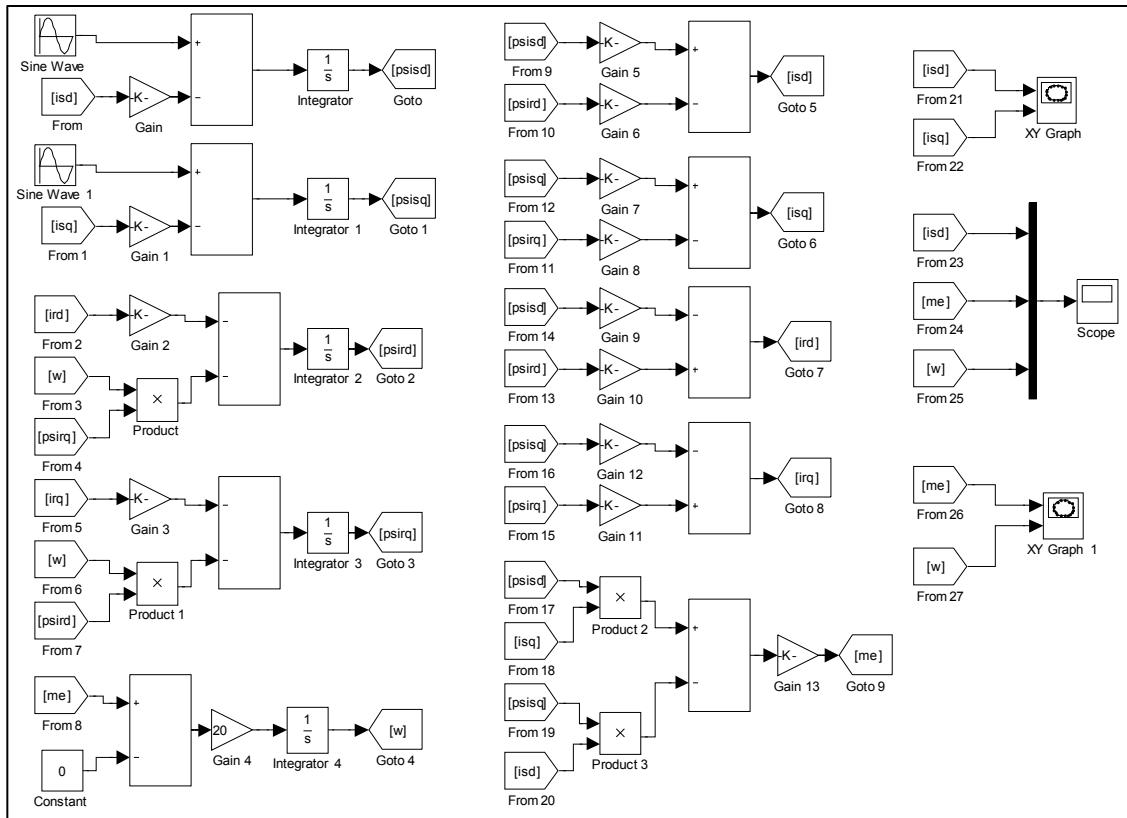


Fig.2. Modelul Simulink al MA de tracțiune cu rotor interior/exterior

Procese tranzitorii

În mediu MatLab au fost simulate procesele tranzitorii la pornirea MA de tracțiune cu rotor interior/exterior AB. Figuriel 3-5 reпреintă graficele de variație ale curenților statorici, caracteristicile mecanice și fazorul curențului statoric.

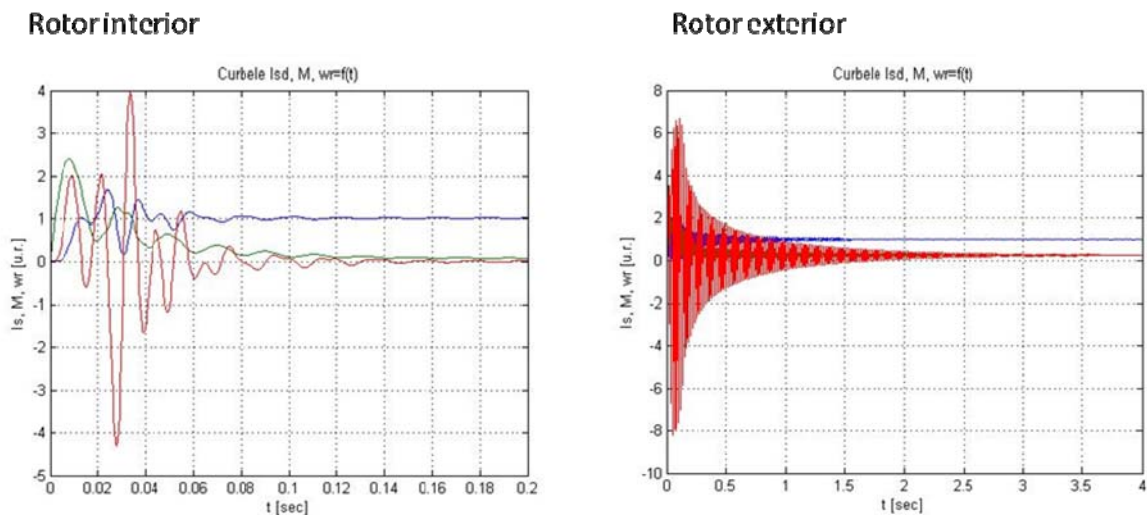


Fig. 3. Curbele de variație a curențului statoric, cuplului și vitezei unghiulare în funcție de timp

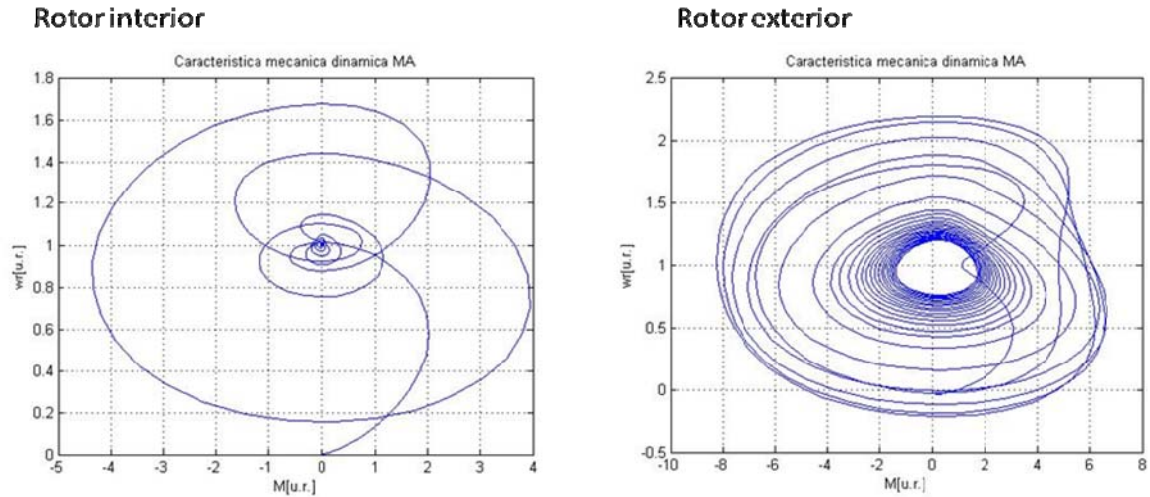


Fig.4. Caracteristica mecanică-dinamică a motorului asincron

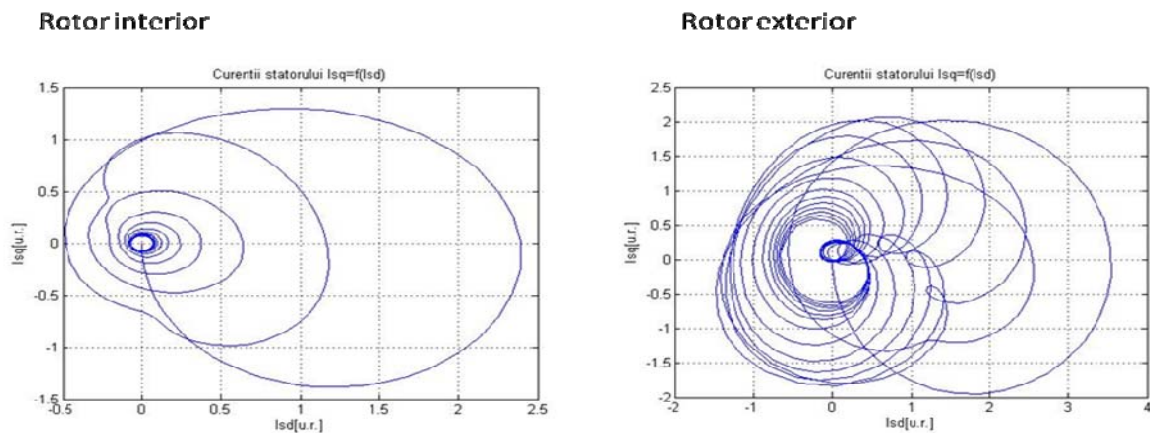


Fig.5. Curbele de variație a fazorului statoric

Cocluzii

Rezultatele simulării pe calculator a demonstrat că pentru motorul asincron cu rotorul exterior are un cuplu de pornire mai mare de cât motorul asincron cu rotorul interior. Din caracteristicile de mai sus se observă ca timpul de stabilizare a motorului cu rotorul exterior este mai mare.

Așa model de *motor-roată* este implementat de mai multe companii cu producere mondială cum ar fi: SIEMENS VDO, Mitsubishi, Ziehl-Abegg (Germania) și Sinomotors (China)

Bibliografie:

1. Asinhronnye tiagovye Ńelectrovigateli „Orion-22-2M” http://orionmotor.narod.ru/Orion_22.pdf
2. TheWheel - a revolutiona in motion. <http://www.e-traction.com/TheWheel.htm>
3. Ilie Nuca. Modelarea sistemelor electromecanice. Note de curs. http://facultate.regielive.ro/cursuri/modelarea_matematica_.../189553.html