

Lucrarea 11

Motorul liniar de inducție

1. Scopul lucrării

Înțelegerea construcției și funcționării motorului liniar de inducție și a utilizării sale pe vehicule de tracțiune. Analiza regimului termic a motorului liniar de inducție.

2. Tipuri de motoare liniare de inducție și aplicații

Sistemele de acționare electrică cu motoare electrice liniare se folosesc în două domenii:

- tracțiunea electrică la viteze mari și medii,
- mașini și instalații industriale care solicită în general viteze reduse de lucru și mișcare liniară, folosirea MLI fiind determinată în principal de posibilitatea înlăturării lanțului cinematic.

La sistemele de acționare hidraulică sau pneumatică pot fi înlocuite cu sisteme cu motor liniar, acesta înlocuind motorul electric rotativ, generatorul hidraulic sau pneumatic, motorul hidraulic sau pneumatic liniar, echipamentele de comanda și reglare hidraulice sau pneumatice și conductele de legatura. Eliminarea lanțurilor cinematice sau a acționarilor hidraulice sau pneumatice are ca avantaje:

- micșorarea gabaritului mașinilor și instalațiilor de lucru,
- reducerea consumurilor de materiale, combustibil și energie,
- îmbunătățirea randamentului transmisiei de la motor la elementul de execuție al ML.

Exemple ale acționărilor pretabile la utilizarea motoarelor liniare de inducție:

- porți și uși glisante;
- săniile de mașini unelte;
- ascensoare, poduri rulante;

- vehicule pe roți sau sustentate magnetic sau pe pernă de aer la viteze mari sau foarte mari;
- acceleratoare liniare, încercări la impact.

Utilizarea motoarelor electrice liniare în tracțiunea electrică are ca avantaje:

- eliminarea forței de aderență în procesul de dezvoltare a forței de tracțiune și eliminarea astfel a limitelor de forță și viteză, impuse de forța de aderență;
- eliminarea sau diminuarea uzurii roților și căilor de rulare prin eliminarea contactului roți-cale de rulare,
- posibilitatea utilizării sustentației electromagnetice sau pneumatice (pe pernă de aer) având ca efecte diminuarea uzurii de frecare și realizarea unor viteze ridicate.

Motorul liniar inducție (MLI) prezintă și unele dezavantaje față de motorul electric rotativ:

- întrefier mărit (necesar pentru dispunerea indusului și din condiții de siguranță mecanică);
- curent mare de magnetizare;
- pierderi mai mari în înfășurarea inductorului și randament mai scăzut al motorului,
- răcire dificilă și factor de putere redus,
- reactanțe de dispersie statorice mari,
- realizarea unor inducții mici în întrefier,
- apariția unor efecte specifice ale MLI (efecte de margine longitudinal și transversal, dispersie mărită în întrefier, forțe normale și laterale).

3. Principiul de funcționare al mașinii liniare de inducție

Pentru a prezenta principiul de funcționare, se pleacă de la motorul asincron rotativ cu rotorul în scurtcircuit. Se consideră motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit din fig. 1, constituit dintr-un stator (inductorul) și un rotor (indusul). Statorul se compune dintr-un corp cilindric din tole (armătura statorică) prevăzut cu o înfășurare trifazată dispusă în creștături, astfel că la trecerea prin ea a unui sistem simetric de curenți să creeze un câmp magnetic inductor învârtitor. Câmpul magnetic inductor are o distribuție sinusoidală, el deplasându-se cu viteza unghiulară sincronă față de inductor:

$$\Omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}, \quad (1)$$

unde: f_1 fiind frecvența curenților de excitație, iar p numărul de perechi de poli ai inductorului.

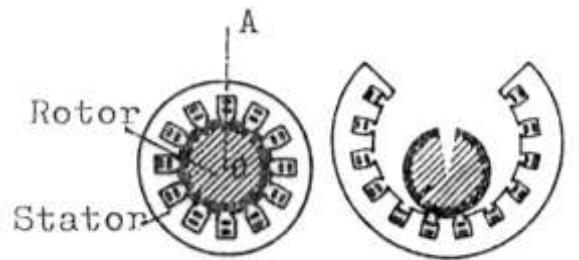


Figura 1. Obținerea motorului liniar de inducție din motorul electric rotativ.

Rotorul se compune dintr-un cilindru de tole prin care se închid liniile fluxului produs de stator și dintr-o colivie, realizată dintr-un metal conductor ale cărei bare sunt dispuse în creștături. Câmpul inductor statoric induce tensiuni electromotoare, deci curenți în barele coliviei rotorice. Din interacțiunea între câmpul magnetic învârtitor statoric și curenții rotorici apar forțele Laplace care acționează asupra barelor coliviei rotorice, perpendiculare în același timp pe câmpul învârtitor și pe curenți, care față de axul motorului produc un cuplu care rotește rotorul în sensul câmpului învârtitor statoric cu o viteză diferită de Ω_1 .

Prin tăierea motorului asincron din fig. 1 după o genereatoare și dacă se desfășoară într-un plan, se obține un nou tip de motor liniar plan cu câmp mobil ca în figura 2.

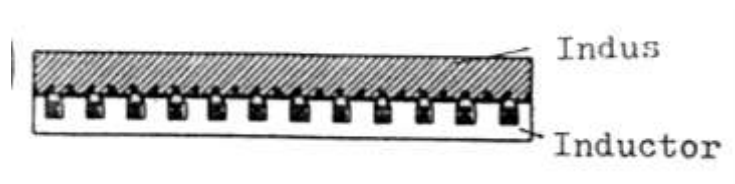


Figura 2. Motorul liniar de inducție.

Să presupunem că inductorul este fixat printr-un procedeu oarecare. Câmpul creat de înfășurarea inductoare în loc de a se roti în jurul unei axe, este un câmp mobil care se deplasează, alunecă paralel cu planul întrefierului cu o viteză:

$$v_1 = 2f_1 \cdot \tau_p \quad (1)$$

unde: v_1 – viteza de sincronism; f_1 – frecvența tensiunii de alimentare iar τ_p – lungimea pasului polar. Deci viteza este determinată de datele constructive ale mașinii.

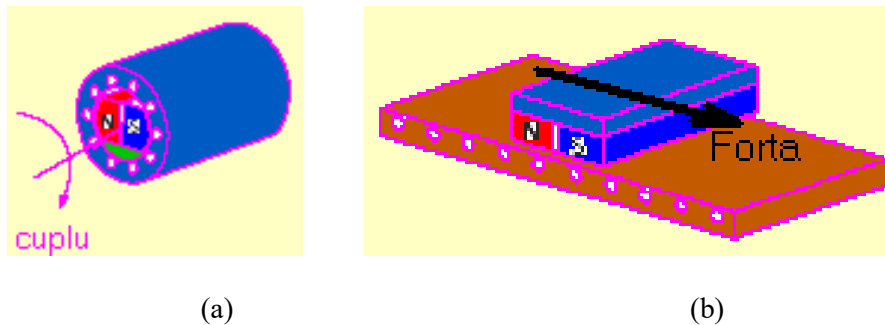


Figura 3. Cuplul motorului rotativ (a) și forța dezvoltată de motorul liniar (b).

Câmpul învârtitor devine alunecător, unidirecțional, iar cuplul electromagnetic (figura 3.a) își pierde sensul, rolul lui fiind preluat de forțele longitudinale. Câmpul mobil tinde să antreneze în mișcarea sa indusul, mișcarea fiind de translație (figura 3.b). În cazul când indusul este fix, prin reacție, inductorul este cel care se deplasează.

La acest tip de mașină nu se mai vorbește de stator și de rotor, ci de inductor pentru partea care conține înfășurarea care produce câmp mobil și indus pentru partea care este intersectată de câmpul magnetic mobil în care apar curenți induși.

4. Clasificarea motoarelor liniare de inducție

1) După dimensiunile relative ale armăturilor:

- cu inductor lung, figura 4.b utilizate la forțe mari de tracțiune și curse de lucru relativ mici;
- cu inductor scurt, figura 4.a, utilizate în cazul curselor mari de lucru.

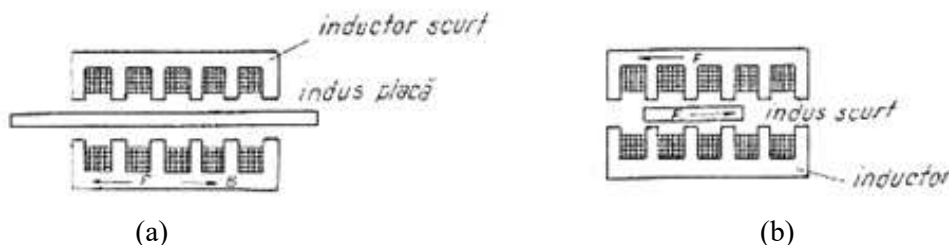


Figura 4. MLI bilaterale: (a) cu inductor scurt, (b) cu inductor lung.

2) După numărul armăturilor:

- MLI unilaterale, figura 5;
- MLI bilaterale, figura 4.

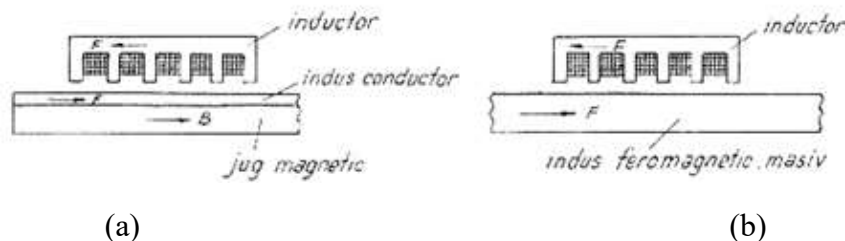


Figura 5. MLI unilaterale: (a) cu inductor scurt, (b) cu inductor lung.

3) după numărul și poziția relativă a armăturilor:

- cu inductor sau indus unilateral, figura 6.a;
- cu inductor unilateral și circuit magnetic de închidere a fluxului, figura 6.b;
- cu inductor bilateral și indus interior, figura 6.c.

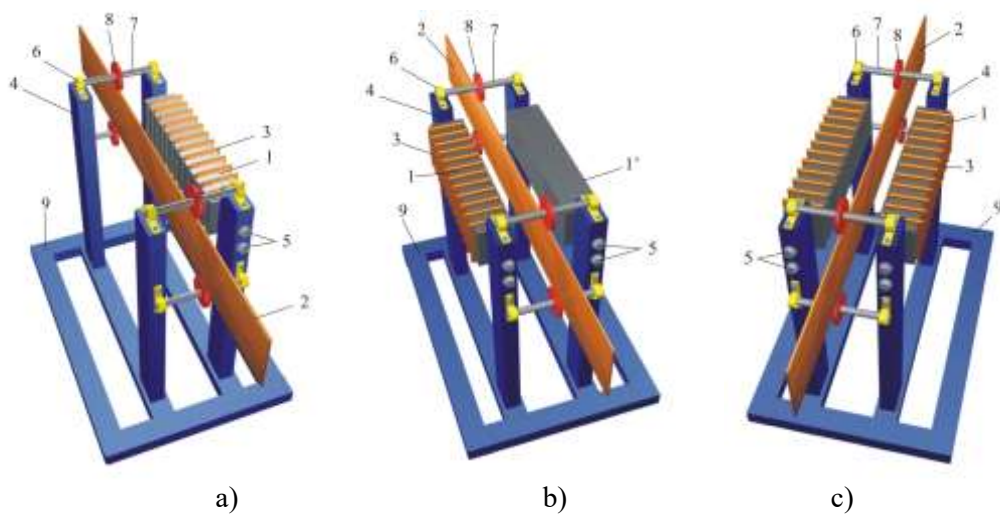


Figura 6. Tipuri de motoare liniare.

1 - Inductor, 1' - circuit magnetic de închidere a fluxului, 2 - indus placa, 3 infasurari in inel, 4 - montanti, 5 - suruburi de fixare a inductorului, 6 - casete de rulmenti, 7 - ax, 8 - rola de ghidare a indusului, 9 - cadru metalic (batiu)

3) după tipul armăturii în mișcare:

- cu inductor mobil, utilizate la acele aplicații la care inductorul este scurt, cum ar fi cazul tracțiunii cu motoare liniare;
- cu indus mobil utilizate mai ales în cazul mișcărilor rectilinii alternative, etc..

4) după forma întrefierului:

- cu întrefier plan, care este și varianta cea mai des întâlnită, un caz particular îl constituie motorul hibrid cu întrefier axial;
- cu întrefier radial cilindric, cunoscut sub denumirea de motor tubular sau cu flux axial, utilizat la curse și gabarite reduse, ca înlocuitor de exemplu al unor cilindri hidraulici sau pneumatici;
- cu întrefier radial – tronconic.

5) după proprietățile magnetice ale indusului:

- cu indus nemagnetic, realizat din materiale cu rezistivitate electrică redusă (Cu, Al, Bz).
- cu indus magnetic, care ține loc și de cale de curent și de jug magnetic. Soluția este avantajoasă din punct de vedere economic, însă prezintă parametri energetici reduși datorită rezistivității mari a oțelului și a adâncimii de pătrundere limitate a câmpului magnetic; prin saturarea miezului magnetic se pot obține însă forțe de tracțiune mai mari chiar decât la indusul nemagnetic;
- cu indus compozit, realizat prin alternarea de materiale magnetice cu materiale de conductivitate ridicată, fie în direcție transversală fie în direcție longitudinală.

6) după forma geometrică a căii de curent a indusului:

- placă omogenă rigidă, indus placă conductoare din aluminiu sau cupru;
- indus mixt sau “sandwich” constituit din plăci neferomagnetice alternând cu plăci feromagnetice, indus sandwich-placă Al-Fe-Al. Fierul asigură și o rezistență mecanică în această construcție de indus.

5. Motor liniar de inducție. Stand experimental de laborator

În laborator există un motor liniar de inducție trifazat care acționează un pantograf asimetric. Motorul liniar de inducție se alimentează de la o rețea trifazată prin intermediul unui inverter trifazat. Linia de contact este simulată printr-un disc din cupru cu grosimea de 1,5 mm și cu diametru de 260 mm care este fixat pe un ax. Pe disc s-au practicat diferite neregularități pentru a scoate în evidență rugozitățile care sunt pe firul de contact datorită arcurilor electrice care au loc în timpul desprinderii elementelor de contact. De asemenea, discul prezintă o decupare la centru care-i permite o deplasare în sus și în jos, realizându-se prin deplasarea discului săgeata liniei de contact respectiv, săgeata firului de contact dintre două pendule consecutive.

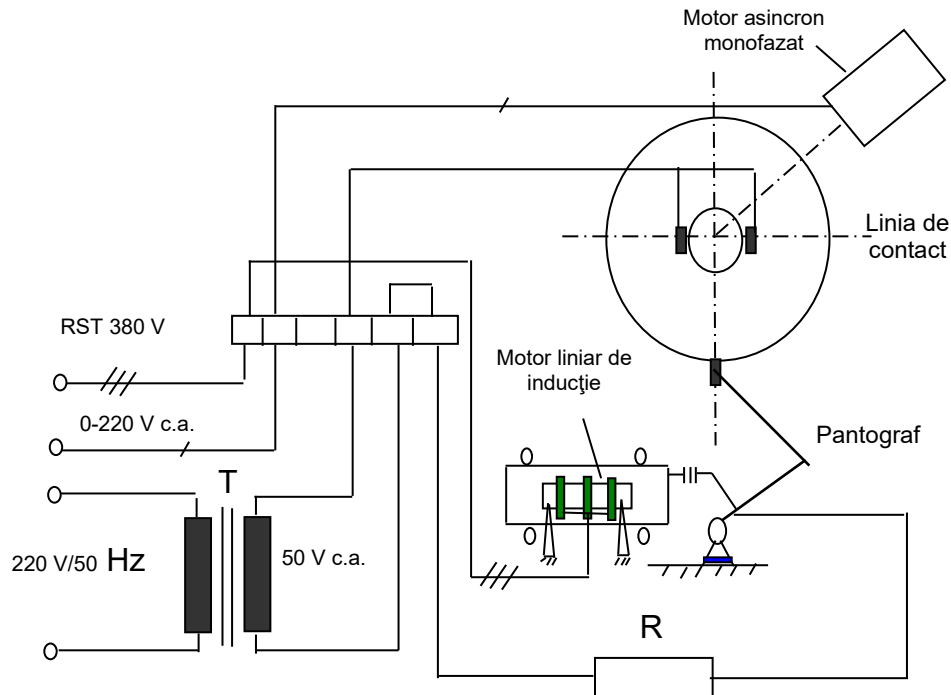


Figura 7. Schema electrică de principiu pentru captarea curentului electric.

Discul este rotit cu ajutorul unui motor asincron monofazat a cărui viteză poate fi modificată, simu lându-se astfel diverse viteze ale vehiculului.

Sistemul colector perie - portperie va asigura circulația curentului electric într-un circuit serie format dintr-o sursă de tensiune, linia de contact, pantograf și un consumator. Astfel sistemul permite detectarea numărului de desprinderi ale pantografului de linia de contact în funcție de viteză.

Motorul liniar de inducție studiat (figura 8) este trifazat, de tip bilateral, cu indusul mobil (1) sub formă de placă de cupru dispusă vertical. Pe cele două inductoare fixe (2a și 2b) sunt realizate înfășurările trifazate ale motorului în câte 24 de crestături, rezultând bobinele (3). Indusul mobil are o mișcare oscilantă.

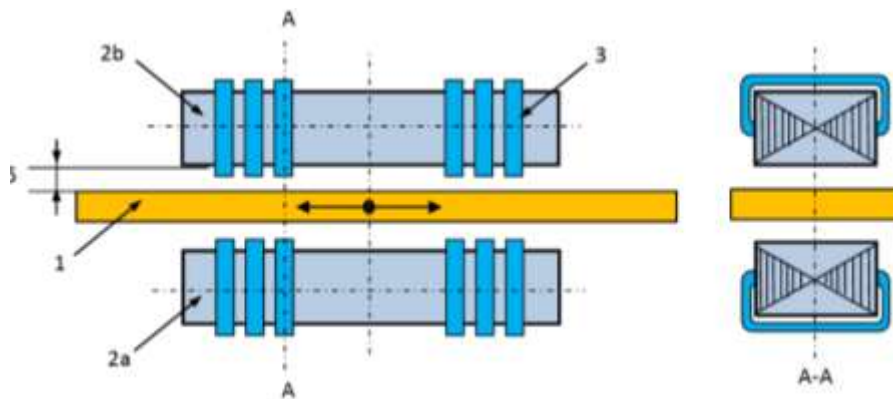


Figura 8. Motorul liniar de inducție de tip bilateral: 1 – placă indus; 2a, 2b – inductori; 3 – crestături cu înfășurarea trifazată, δ – înțrefier.

Funcționarea motorului liniar de inducție are ca efect supraîncălzirea înfășurărilor, respectiv a plăcii indusului, ceea ce poate duce la topirea izolației, scurtcircuitarea înfășurărilor, deformarea planeității indusului și chiar scoaterea din starea de funcționare a mașinii. Determinarea temperaturii înfășurărilor se poate face prin metoda indirectă, care se bazează pe determinarea temperaturii înfășurării cu ajutorul unor relații matematice, sau prin măsurarea directă a temperaturii utilizând dispozitive specializate pentru măsurarea temperaturii.

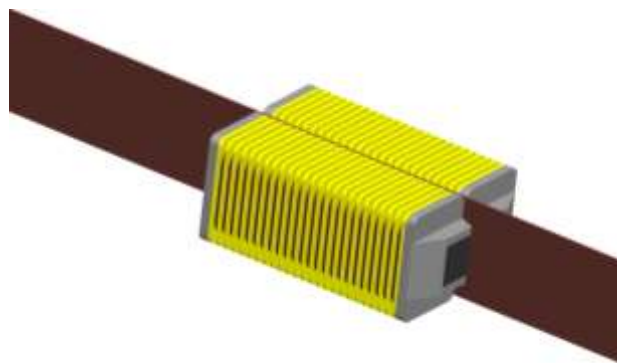


Figura 9. Motorul liniar de inducție de tip bilateral.

Determinarea vitezei de creștere a temperaturii înfășurărilor și a altor părți componente ale motorului liniar se face atunci când indusul acestuia este blocat, inductorul fiind alimentat în prima etapă la tensiunea și frecvența nominală la un sistem trifazat simetric sinusoidal. Prin aceste măsurători, se caută aprecierea nivelului de temperatură la care se poate ajunge într-un anumit interval de timp.

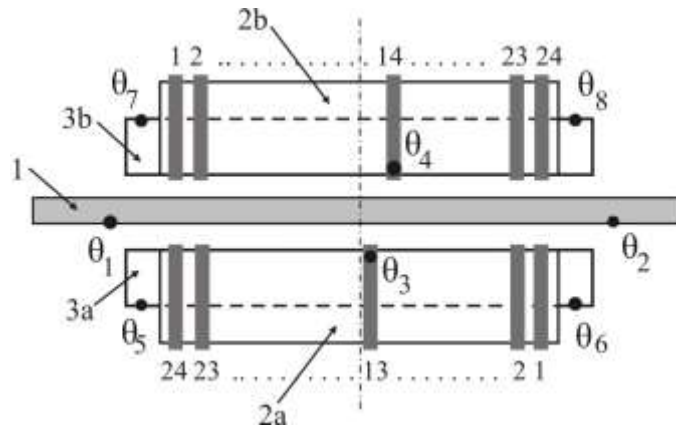


Figura 9. Puncte de măsurare a temperaturii.

Mersul lucrării și conținutul referatului

1. Se vor studia tipurile diverse de motoarele liniare de inducție prezentate în lucrare.
2. Se vor recunoaște elementele componente ale standului de laborator.
3. Se alimentează motorul liniar trifazat și se măsoară variația temperaturii în inductoare și placa indus (conform figurii 9) până la atingerea regimului staționar. Datele se trec în tabelul 1.
4. Se deconectează motorul de la rețea și se măsoară în continuare variația temperaturii la răcirea motorului.
5. Se trasează curbele de încălzire și de răcire ale motorului.

Tabelul 1. Variația temperaturii la motorul linear de inducție.

Timp [min]	$\theta_{\text{armatură}} [C^{\circ}]$		$\theta_{\text{inductor}} [C^{\circ}]$		$\theta_{\text{jug}} [C^{\circ}]$			
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8
0								
5								
10								
15								