

RECEȚIONAT

Agenția Națională pentru
Cercetare și Dezvoltare _____

” ” _____ 2024

AVIZAT

Secția AȘM _____

” ” _____ 2024

RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL

pentru etapa 2023


privind implementarea proiectului din cadrul
Programului de Stat (2020-2023)

**Proiectul: „Sisteme integrate autohtone de tracțiune electrică pentru
vehicule urbane de pasageri”**

Cifra proiectului 20.80009.5007.29

Prioritatea Strategică V „Competitivitate economică și tehnologii inovative”

Rector U.T.M. dr. hab. Viorel BOSTAN
(numele, prenumele)


(semnătura)

Consiliul științific UTM dr. hab. Vasile TRONCIU
(numele, prenumele)


(semnătura)

Conducătorul proiectului Dr. Ilie NUCĂ
(numele, prenumele)


(semnătura)



Chișinău 2024

1. Scopul etapei 2023 conform proiectului depus la concurs (obligatoriu)

Dezvoltarea modelelor matematice ale motoarelor asincrone hexafazate, convertoarelor hexafazate și vehiculelor electrice, testarea machetelor elementelor componente și ale sistemului de tracțiune hexafazate în condiții de laborator

2. Obiectivele etapei 2023 (obligatoriu)

- Dezvoltarea modelelor matematice ale motoarelor asincrone hexafazate cu înfășurarea statorică simetrică și asimetrică
- Dezvoltarea modelelor FEM 2D și 3D ale motoarelor asincrone hexafazate
- Testarea machetelor de motoare asincrone trifazate și hexafazate în condiții de laborator
- Elaborarea și confecționarea machetei convertorului electronic hexafazate cu unghi reglabil dintre modulele trifazate
- Testarea machetei convertorului hexafazat cu control scalar
- Testarea sistemului de tracțiune hexafazat în condiții de laborator
- Simularea vehiculului urban de pasageri cu sistem de tracțiune hexafazat și diferite transmisii mecanice

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2023 (obligatoriu)

1. Elaborarea modelului matematic ortogonal al MA6F cu înfășurarea statorică asimetrică
2. Dezvoltarea modelului matematic și studiul pierderilor de putere în sistemul hexafazat de propulsie al electrobuzului
3. Simularea convertoarelor statice multifazate cu ajutorul softurilor specializate
4. Dezvoltarea modelelor FEM 2D și 3D și analiză câmpului electromagnetic al motorului asincron hexafazat
5. Dezvoltarea metodelor de testare ale inverterului hexafazat de tracțiune
6. Testarea modelelor fizice ale inverterului hexafazat de tracțiune
7. Dimensionarea prototipului inverterului autonom hexafazat de tracțiune
8. Realizarea documentației tehnice a prototipului inverterului autonom hexafazat de tracțiune
9. Analiza perturbațiilor cauzate de sistemul hexafazat "Invertor de tensiune-Motor asincron"
10. Elaborarea sistemului de comandă al inverterului hexafazat cu control vectorial
11. Testarea sistemului de tracțiune hexafazat în condiții de laborator
12. Dezvoltarea conceptelor inovative ale vehiculelor urbane cu sisteme integrate hexafazate

4. Acțiunile realizate (obligatoriu)

1. Au fost elaborate modelele de câmp 2D și 3D ale MA6f în mediul Solidworks Electromagnetic
2. A fost elaborat modelul matematic al MA6F cu înfășurarea statorică asimetrică
3. Testarea în condiții de laborator a machetelor de motoare asincrone hexafazate și a motorului asincron trifazat
4. Confecționarea plăcii de control al convertorului de tensiune hexafazat cu reglarea unghiului dintre modulele trifazate
5. Elaborarea și implementarea algoritmului de control scalar al convertorului de tensiune hexafazat cu reglarea unghiului dintre modulele trifazate

6. Testarea în condiții de laborator a machetei convertorului de tensiune hexafazat
7. Testarea în condiții de laborator al sistemelor de acționare trifazat și hexafazat simetric și asimetric, inclusiv cu ruperea unei sau a două faze
8. Evaluarea indicatorilor de calitate a puterii și distorsiunilor armonice ale sistemelor de tracțiune hexafazate
9. A fost dezvoltat modelul Simscape și studiate dinamica și eficiența electrobuzului cu sistem hexafazat de propulsie și diferite transmisii mecanice

5. Rezultatele obținute (descriere narativă 3-5 pagini) (obligatoriu)

5.1. Elaborarea modelului matematic al motorului asincron hexafazat asimetric

În baza transformărilor de axe Clarke și Parc a fost elaborat modelul matematic al motorului asincron hexafazat cu două înfășurări statorice trifazate simetrice și defazate una față de altă. Modelul reprezintă o mașină electrică echivalentă ortogonală cu două înfășurări statorice bifazate defazate una față de altă cu un unghi de 30 grade electrice și rotorul comun. În fig.5.1 sunt prezentate ecuațiile de tensiune în referențialul general de axe și schemele electrice echivalente pentru axele ortogonale ale modelului matematic elaborat, care au servit ca bază pentru crearea modelului Simulink și simularea pe calculator al sistemului de tracțiune cu motor asincron hexafazat (fig.5.2).

$$\begin{aligned}
 U_{qs1} &= r_s i_{qs1} + \frac{d\Psi_{qs1}}{dt} + \omega \Psi_{ds1} \\
 U_{ds1} &= r_s i_{ds1} + \frac{d\Psi_{ds1}}{dt} + \omega \Psi_{qs1} \\
 U_{qs2} &= r_s i_{qs2} + \frac{d\Psi_{qs2}}{dt} + \omega \Psi_{ds1} \\
 U_{ds2} &= r_s i_{ds2} + \frac{d\Psi_{ds2}}{dt} + \omega \Psi_{ds2} \\
 U'_{qr} &= r'_r i'_{qr} + \frac{d\Psi'_{qr}}{dt} + (\omega - \omega_r) \Psi'_{dr} \\
 U'_{dr} &= r'_r i'_{dr} + \frac{d\Psi'_{dr}}{dt} + (\omega - \omega_r) \Psi'_{qr}
 \end{aligned}$$

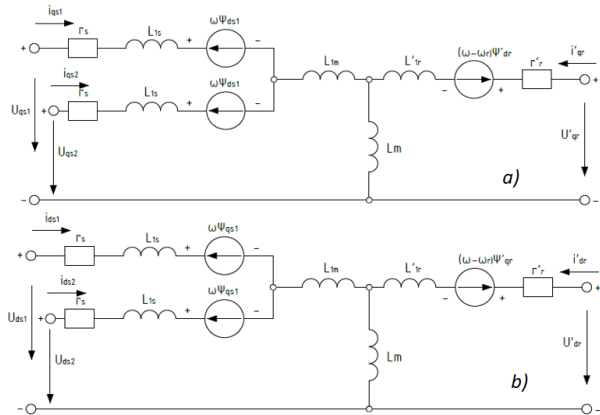


Fig.5.1.1. Ecuațiile de tensiune și schemele echivalentă ale modelului motorului asincron hexafat asimetric

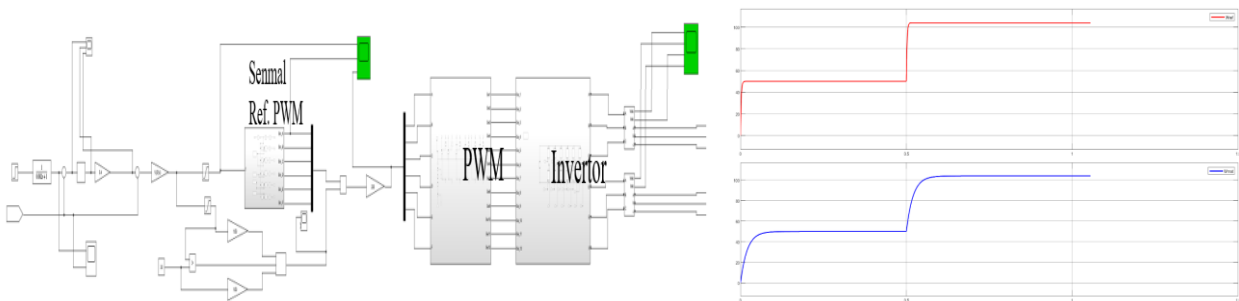


Fig.5.1.1. Modelul Simulink și reacția sistemului la varierea vitezei impuse

5.2. Elaborarea modelelor FEM de câmp 2D și 3D ale motoarelor asincrone hexafazate

Pentru studiul aprofundat al problemelor de câmp ale w 3 scheme ale motoarelor asincrone cu înfășurării statorice hexafazate simetrice și asimetrice cu elemente finite (FEM) au elaborate

modele 2D cu softul FEMM și 3D în mediul Solidworks Electromagnetic Simulation. În fig.5.2.1 sunt prezentate vederea generală și elementele finite 3D ale motorului asincron hexafazat elaborate cu softul Solidworks Electromagnetic. Rezultatele simulării repartitiei câmpului magnetic denotă faptul, că în motorul hexafazat asimetric inducția magnetică este mai mică cu 0.1-0.3 T față de motorul simetric (fig.5.2.2).

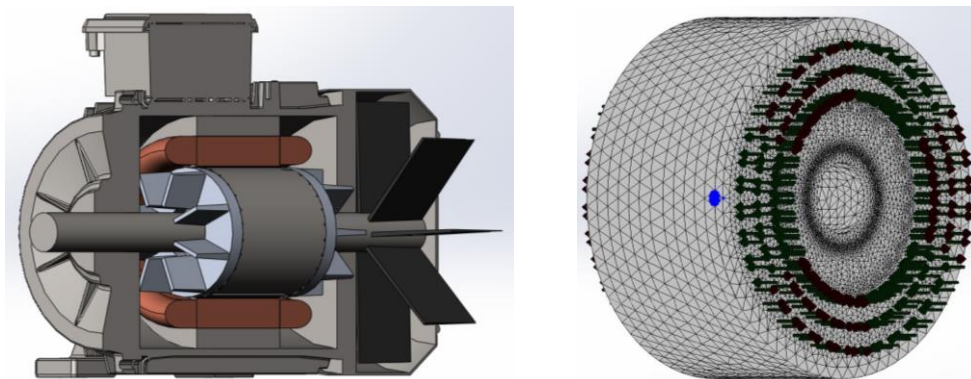


Fig.5.2.1 Vederea generală și modelul FEM 3D al motorului asincron hexafazat cu 6 poli

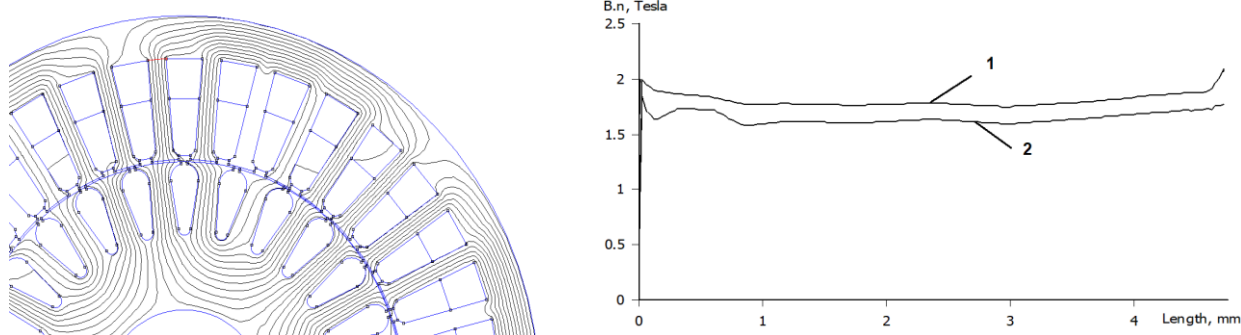


Fig.5.2.2 Tabloul câmpului 2D și repartitia inducției magnetice în dintele statoric al motorului hexafazat cu înfășurarea 1) simetrică și 2) asimetrică

5.3. Elaborarea și testarea convertorului electronic hexafazat cu control simetric și asimetric

Pentru studiul structurilor sistemelor de tracțiune hefazate pentru convertorul de frecvență hexafazat de laborator (fig.5.3.1.) a fost proiectată și confecționată placă circuitului de control cu microcontroler STM32F103C8T6 cu două module separate și posibilitatea schimbării defazajului dintre două sisteme de tensiuni trifazate.

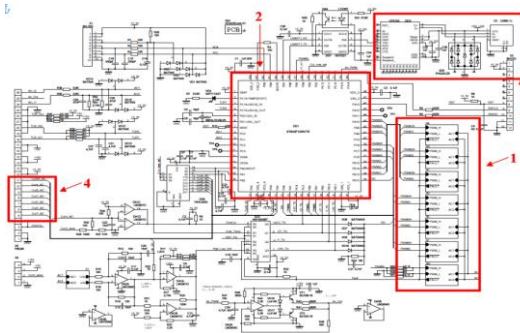


Fig.5.3.1 Vederea generală și schema circuitului de control al convertorului hexafazat elaborat

În rezultatul testării pentru convertorului static hexafazat cu control scarar de 5 kW, 220 V, 0-100 Hz au fost studiate pierderile de putere și încălzirea la varierea sarcinii pentru diferite frecvențe (fig.5.3.2). În sarcină nominală randamentul convertorului constituie 97,2%, iar temperatura radiatorului de răcire nu depășește 40°C.

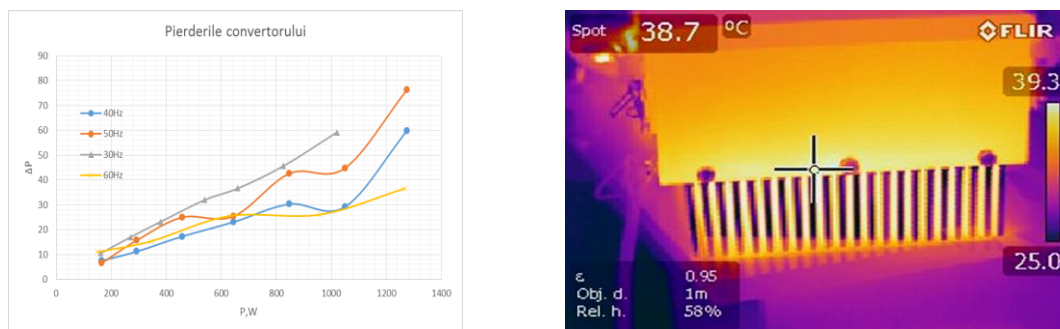


Fig.5.3.2 Pierderile de putere ale convertorului hexafazat și tabloul termic al radiatorului de răcire

5.4. Testarea sistemelor de tracțiune hexafazate în condiții de laborator

Pentru studiul experimental al sistemelor hexafazate de tracțiune au fost utilizate machete ale convertorului de frecvența hexafazat cu control separat al modulelor trifazate, machete ale motoarele asincrone trifazat (MA3F), hexafazat simetric (MA6Fs) și hexafazat simetric (MA6Fa), toate de 0.75 kW, 220 V, 2p=6 și cu rebobinarea înfășurării statorice în modul corespunzător pe motoare identice de serie. Programul de încercări au fost realizate pe un stand de laborator specializat confecționat în cadrul acestui proiect și în conformitate cu standardul IEC 60349 Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 2: Electronic converter-fed alternating current motors. Caracteristicile de funcționare și mecanice de reglare pentru toate cele trei motoare sunt prezentate în fig.5.4.1 și fig.5.5.2. S-a constatat practic suprapunerea curbelor factorului de putere și a turațiilor în funcție de sarcină. În același timp randamentul motoarelor hexafazate depășește cu 2-3% pe cel al motorului trifazat. Randamentul motorului hexafazat simetric depășește cu circa 1% pe cel al motorului asimetric. Sistemul hexafazat convertor-MA6f asigură reglarea vitezei în domeniul necesar, iar forma caracteristicilor mecanice este favorabilă pentru vehiculele electrice.

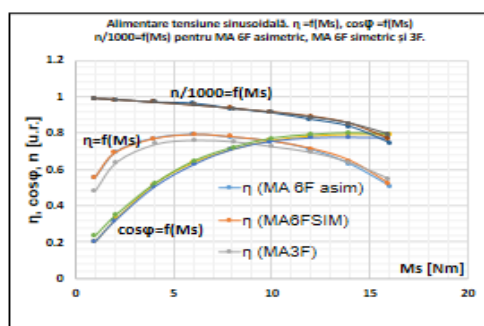


Fig.5.4.1. Caracteristicile de funcționare

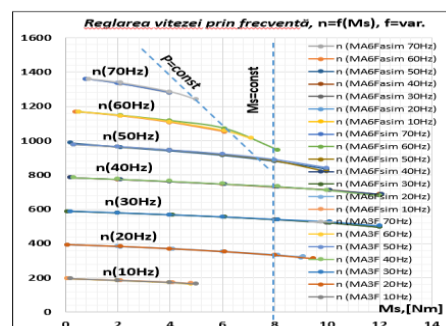


Fig.5.4.2. Caracteristicile mecanice reglabile

Pentru vehiculele electrice, mai ales pentru cele autonome, foarte importantă este toleranța la defecte al sistemului de tracțiune. Pe standul de laborator a fost testat sistemul hexafazat convertor-motor la ruperea fazei A1 și la ruperea fazelor a două faze A1 și C2 din sistemele trifazate diferite și au fost ridicate caracteristicile vitezei și curentului în funcție de cuplul sarcinii (fig.5.4.3). În

rezultat s-a constatat fiabilitatea mare a sistemelor de tracțiune hexafazate la pierderea unei sau a două faze din cele șase. Chiar și la ruperea a două faze cuplul de pornire a motorului depășește cuplul nominal, iar curenții de fază nu depășesc dublul curentului nominal.

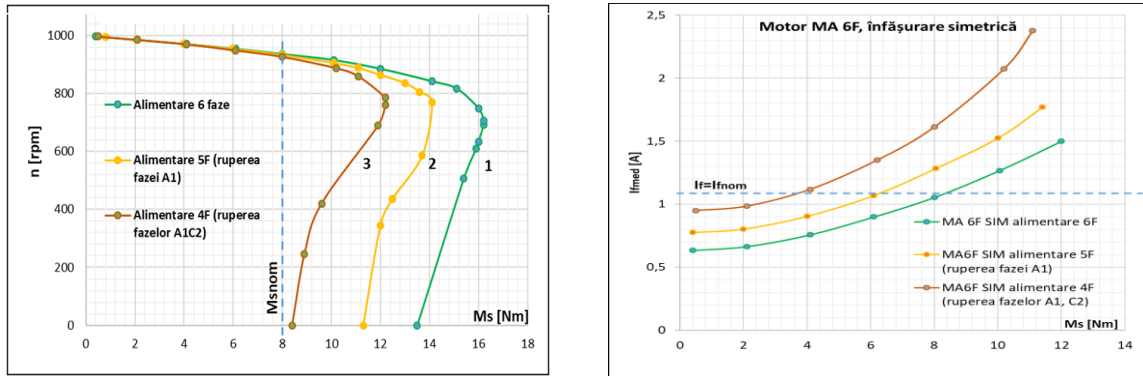


Fig.5.4.3 Caracteristicile vitezei și curentului ale sistemului de tracțiune hexafazat cu defecte de fază

Pentru studiul caracteristicilor de tracțiune al sistemului hexafazat de propulsie a fost dezvoltat modelul MatLab Simscape (fig.4.1.1,a) cu integrarea părții electrice și părții mecanice ale electrobuzului. Grupul motopropulsor al vehiculului, care include diferențialul, o cutie de viteze, osia și roata. Partea mecanică conține subsamblele axului de spate împreună cu cutia de transmisie (fig.4.1.1,b) și subsamblul mecanismului roții a VE (fig.4.1.1,c).

5.5. Calitatea puterii și distorsiunea armonică a sistemelor de tracțiune hexafazate

Convertoarele electronice de putere ale vehiculelor electrice prezintă un pericol pentru calitatea puterii (PQ) și alte probleme atribuite distorsiunilor armonice propagate de-a lungul rețelelor de alimentare. Pentru studiul a distorsiunilor armonice sistemelor de tracțiune cu motor asincron trifazat (MA3F) și motoarelor asincrone hexafazate simetric (MA6Fs) și asimetric (MA6Fa) la funcționarea la funcționarea cu sarcină nominală și frecvența de alimentare 50 Hz a fost utilizat analizatorul de rețea FLUKE MI 2885. Au fost calculate spectrul de armonici în PQ, distorsiunea totală armonică (THD) a curenților și tensiunilor și puterile dezvoltate în regim nesinusoidal. În fig.5.5.1 reprezintă rezultatele calculului distorsiunii totale a curenților trifazați (I1,I2, I3), iar in și fig.5.5.2 - puterile armonice (aparentă, reactivă și activă) ale sistemelor pentru motoarele trifazat MA3F și hexafazate simetric MA6Fs și asimetric MA6Fa. Se constată, că indicii de calitate a puterii și a distorsiunii armonice ale sistemelor hexafazate elaborate se încadrează în limitele standardelor de calitate a energie IEEE 519-2014 și 1459-2010, iar cele mai mari distorsiune sunt în sistemul cu motor MA6F simetric.

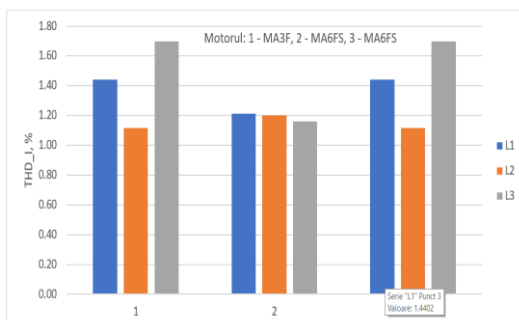


Fig.5.5.1. Distorsiunea totală armonică a curenților trifazați I1, I2, I3

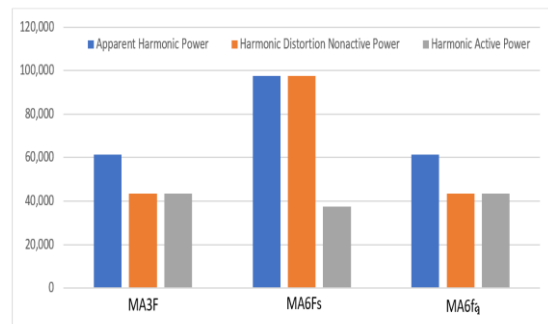


Fig.5.5.2. Puterile armonice ale sistemelor de tracțiune cu motoare MA3F, MA6Fs, MA6Fa

5.6. Studiul dinamicii și eficienței energetice a vehiculelor electrice urbane cu sistem de tracțiune hexafazat

Studiul regimurilor dinamice și a eficienței energetice a vehiculelor electrice urbane de pasageri (VEUP) cu sistem de tracțiune hexafazat și cutii mecanice de transmisie cu diferite rapoarte de reduce (1:2, 1:4, 1:6) au fost realizat în baza modelului Simscape (dotat cu module speciale pentru calcularea puterilor și a energiilor) al vehiculului urban de pasageri, care integrează atât partea electrică de forță cu motoarea asincronă hexafazată și sistemul de control respectiv, cât și partea mecanică (cardan, curia de transmisie, diferențialul și roțile cu masă echivalentă totală). Studiul s-a realizat pentru mai multe cicluri standard de conducere, inclusiv a celui urban. În fig.5.6.1 sunt prezentate curbele vitezei VEUP, cuplului electromagnetic și curentului unei faze a motorului pentru ciclul standard urban pentru factorul de transmitere 1:2 și se observă, că aceste curbe urmăresc semnalele standard impuse. În baza studiilor realizate în cazul traficului urban se recomandă viteza de transmisie cu raportul 1:6 sau 1:4, iar pentru traficul extarurban – cel 1:2. Diagrama din fig.5.6.2 reprezintă dependența consumului de energie kWh/100 km a VEUP în funcție de cicluri standard de conducere și factorul de reducere a transmisiei mecanice. Pentru a optimiza consumul energetic al VEU se recomandă transmisia mecanică cu două trepte, prima treaptă cu un raport de 1:6 pentru utilizarea în condiții urbane cu viteza <50 km/h, iar a doua cu un raport de 1:3 pentru ciclurile interurbane cu viteza >50 km/h

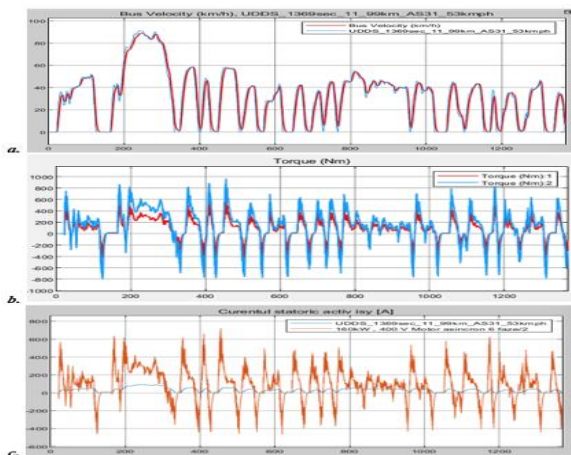


Fig.5.6.1. Varierea a) vitezei b) cuplului și c) a curentului motorului la conducerea în ciclul standard urban cu factorul de transmisie de 1:2

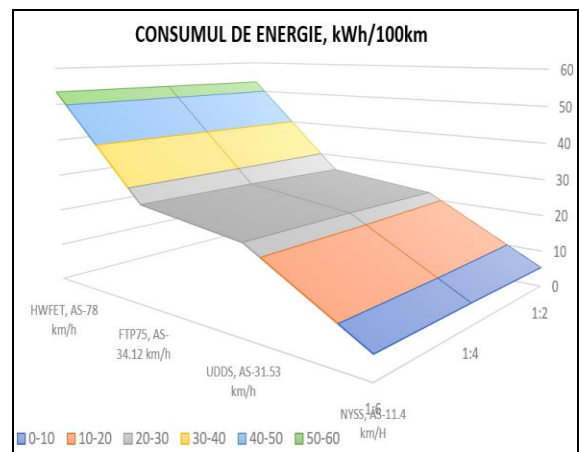


Fig.5.6.1. Consumul de energie al VEUP în funcție de ciclul standard de conducere și factorul de transmisiei mecanice

6. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului (obligatoriu)

- **Impactul științific** al rezultatelor obținute constă în elaborarea și confecționarea unui convertor electronic de frecvență hexafazat inovativ cu reglarea unghiului dintre modulele trifazate, demonstrarea eficienței energetice majorate și a funcționalității sporite motoarelor asincrone hexafazate față de cele trifazate similare, elaborarea modelelor matematice sofisticate pentru simularea componentelor a vehiculului electrice cu sisteme de tracțiune hexafazat

- **Impactul social** este confirmat prin implicarea largă cu o cotă de 40% a tinerilor în realizarea proiectului, pregătirea tinerilor cadre științifice prin doctorat, realizarea tezelor de licență și master (anexele nr.6.1 și 6.2). Pe tematica proiectului a fost obținut în acest un grant de cercetare prin doctorat pentru cercetătorul stagiar Lucian Grușac.
- **Impactul economic** al rezultatelor obținute este confirmat prin certificatul eliberat de către compania ÎTȘ Informbusiness (anexa nr.6.3) – unicul producător autohton de componente și sisteme de tracțiune, dar și de vehicule electrice urbane de pasageri (troleibuze și electrobuze).

7. Colaborare la nivel național și internațional în cadrul implementării proiectului (după caz)

❖ Colaborare la nivel național

- Compania ÎTȘ INFORMBUSINESS din 2005 este partenerul principal al Departamentului Inginerie Electrică UTM în dezvoltarea sistemelor de tracțiune pentru vehicule urbane de pasageri, a contribuit la elaborarea, confecționarea și cercetarea machetei experimentale a inverterului hexafazat, elaborarea și publicarea în comun a lucrărilor științifice. Compania este un sponsor permanent al Conferinței IEEE de Sisteme Electromecanice și Energetice SIELMEN
- Compania Electromotor-Service a fost contractă pentru rebobinarea motoarelor de serie trifazate în motoare asincrone hexafazate conform schemelor speciale ale înfășurărilor statorice.

❖ Colaborare la nivel internațional

- Cercetări și publicații comune cu echipa de compatibilitate electromagnetă și calitate a puterii, Departamentul Inginerie Electrică, Energetică și Aerospațială, Facultatea de Inginerie Electrică, Universitatea din Craiova
- Cercetări și publicații comune cu echipa de tracțiune electrică, Departamentul Acționări Electrice și Utilizarea Energiei Electrice, Facultatea de Inginerie Electrică și Energetică, Universitatea Tehnică din Iași. În acest an fost depusă o cerere pentru un proiect bilateral RO-MD de cercetare în domeniul vehiculelor electrice
- Pregătirea tinerilor cercetători prin programele de master și doctorat cu dublă diplomă, Departamentul de Electrotehnică, Universitatea Ștefan ce Mare din Suceava
- Promovarea proiectului în cadrul conferințelor științifice organizate de Facultatea de Inginerie din Reșița a UBB din Cluj-Napoca, Facultatea de Inginerie Electrică a Universității Tehnice din Cluj-Napoca

8. Dificultățile în realizarea proiectului (financiare, organizatorice, legate de resursele umane etc.) (după caz)

- Volumul insuficient de finanțare pentru procurarea echipamentelor performante de măsurare și înregistrare în timp real a unui număr mare de mărimi fizice (așa cum este specificul temei de cercetare a sistemelor hexafazate convertor electronic-motor electric-sarcină mecanică) și pentru contractarea unor servicii de confecționare a pieselor și instalațiilor complexe.

- Cele mai mari dificultăți au fost întâlnite la confecționarea machetei convertorului de frecvență hexafazat, deoarece au fost necesare de componente de import, cât și de confecționarea în afara țării a circuitelor imprimate de comandă, condiții ce au dus la reținerea activităților de testare a sistemelor de tracțiune hexafazate.

9. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații (obligatoriu)

Lista publicațiilor din anul 2023 în care se reflectă doar rezultatele obținute în proiect, perfectată conform cerințelor față de lista publicațiilor (a se vedea Anexa 2). Totalul cucategoria și număr publicați este prezentat în următorul tabel

Nr.	Categoria	Număr
1.	Articole în reviste din străinătate recunoscute	1
2.	Articole în reviste din Registrul National al revistelor de profil	1
3.	Articole în lucrările conferințelor științifice internaționale (indexate IEEE Xplore și Scopus)	6
4.	Teze ale conferințelor științifice internaționale	2
5.	Materiale la saloanele de invenții	3
6.	Lucrări științifico-metodice și didactice (standarde de calificare licență și master)	4
Total		17

10. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de prezentări la foruri științifice.
(comunicări, postere – pentru cazurile când nu au fost publicate în materialele conferințelor)

Machete ale Convertorului hexafazat de tensiune și ale Motorului asincron hexafazat au fost expuse la evenimente și expoziții naționale, conform tabelului:

Nr.	Denumirea	Data
1	Expoziția Ziua Europei	14.05.2023
2	Festivalul Ziua Mediului 2023	10 iunie 2023
3	Evenimentul de comunicare publică „ De vorbă cu cetățenii ” organizat de Guvernul Republicii Moldova cu ocazia marcării celor 32 de ani de Independență	28 august 2023
4	Festivalul SUN DA-I FEST, AEE	10 septembrie 2023
5	Expoziția Noaptea cercetatorilor europeni	2 octombrie 2023
6	Expoziția consacrată Zilei Științei în Republica Moldova,	20 noiembrie 2023

11. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media (Opțional):

- IEEE: totalurile conferinței internaționale SIELMEN, ediția a XIV-a. Autor-Ilie Nuca.
<https://utm.md/blog/2023/10/28/ieee-conferinta-internationala-sielmen-la-a-14-a-editie/>
- Pagina facebook a Departamentului Inginerie Electrică UTM.
<https://www.facebook.com/inginerieelectrica/>

12. Teze de doctorat / postdoctorat susținute și confirmate în anul 2023 de membrii echipei proiectului (opțional)

În lunile mai-iunie 2023 la unitatea primară (din păcate, ulterior și până în prezent, seminarul de profil nu a activat) au prezentate tezele de doctorat membrii echipei:

- ❖ M.BURDUNIUC. Contribuții privind motoarele asincrone monofazate de viteză unghiulară reglabilă (cond.șt. -prof.Tudor Ambros)
- ❖ O.MANGOS. Contribuții la valorificarea potențialului eolian de producere a energiei electrice (cond.șt. -prof.Ion Sobor)
- ❖ A.ȚURCAN. Sisteme electromecanice integrate cu control numeric pentru aparatele de cafea (cond.șt. -conf.Ilie Nuca)

13. Concluzii

- Pentru prima dată a fost elaborat și confecționat un convertor electronic de frecvență hexafazat care permite reglarea unghiului dintre modulele trifazate pentru asocierea cu motoarele asincrone hexafazate simetrice și asimetrice
- Testarea în condiții de laborator a mostrelor confecționate a demonstrat că eficiența energetică a motoarele asincrone hexafazate este mai mare cu 2-3% față de motoarele trifazate cu miezul feromagnetic statoric și rotorul identice, cât și menținerea capacității de funcționare fără supraîncălzire a motoarelor hexafazate la ruperea unei sau două faze statorice
- Indicii calității de putere și distorsiunii armonice ale sistemelor hexafazate elaborate se încadrează în limitele standardelor IEEE 519-2014 și 1459-2010.
- A fost elaborat un model SimScape al vehiculului electric care combina sistemul hexafazat de tracțiune și transmisia mecanică în baza căruia au fost simulate regimurile dinamice și pierderile de putere pentru diferite cicluri standard de conducere și cutii de transmisii cu varierea factorului de reducere.
- Rezultatele de cercetare ale sistemelor de tracțiune hexafazate pentru vehiculele electrice au fost transmise și vor fi utilizate de către compania ÎTȘ Informbusiness – producător autohton

de componente și sisteme de tracțiune, dar și de vehicule electrice urbane de pasageri (troleibuze și electrobuze).

Conducătorul de proiect _____ / dr.NUCA Ilie

Data: _____

LȘ



Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2023**Sisteme integrate autohtone de tracțiune electrică pentru vehicule urbane de pasageri****Cifra proiectului 20.80009.5007.29**

Cuvinte cheie: vehicul electric urban de pasageri, sistem de tracțiune, convertor static hexafazat, motor asincron hexafazat, modele matematice, stand de laborator, metode de testare, eficiență energetică, fiabilitate

Subiectul programului de cercetare ELTRAC se referă la dezvoltarea și cercetarea sistemelor performante de tracțiune pentru troleibuze/electrobuze, constituite din convertoare electronice și motoare asincrone hexafazate. Pentru anul 2023 au fost planificate și realizate acțiuni axate pe elaborarea și testarea convertorului electronic hexafazat cu două ieșiri trifazate și reglarea defazajului dintre ele, încercarea în condiții de laborator a machetelor, ridicarea caracteristicilor de funcționare și de reglare ale sistemelor de tracțiune hexafazate, simularea regimurilor dinamice și aprecierea consumului energetic ale vehiculelor electrice urbane de pasageri.

În acest context a fost elaborată și confecționată placa circuitului imprimat de reglare separată a celor două ieșiri trifazate și a defazajului dintre ele pentru dotarea convertorului de frecvență hexafazat cu control scalar. Prin testare au fost apreciate pierderile de putere ale convertorului, cât și distorsiunile armonice care nu depășesc limitele standard.

Pe standul de încercări elaborat în cadrul proiectului au fost testate trei motoare asincrone (trifazat, hexafazat simetric și hexafazat asimetric), cu toate rebobinate cu înfășurarea statorică cu scheme electrice respectivă cu trei perechi de poli în bază unui motor identic de serie. Testarea motoarelor s-a realizat pe rând și alimentate corespunzător de la convertorul hexafazat la variere frecvenței de alimentare și a cuplului sarcinii mecanice. Ca rezultat s-a constatat majorării eficienței energetice a sistemelor hexafazate cu 2-3% față de cel trifazat și obținerea caracteristicilor mecanice de reglare rigide într-un larg diapazon. Cea ce este important pentru vehiculelor electrice autonome, s-a constatat fiabilitatea mare de funcționare ale sistemelor de tracțiune hexafazate la ruperea unei sau a două faze.

În baza modelului elaborat al electrobuzului cu integrarea sistemului hexafazat de tracțiune și a transmisiei mecanice au fost studiate dinamica vehiculului și consumul energetic, au fost formulate recomandări pentru alegerea respectivă a factorului de transmisie în funcție de ciclul standard de conducere a vehiculului.

Producătorul autohtone de echipamente de tracțiune și de vehicule electrice urbane de pasageri ÎTȘ Informbusiness și-a manifestat interesul față de rezultatele cercetării sistemelor de tracțiune hexafazate, contribuind și tehnic la confecționarea convertorului hexafazat.

Rezultatele acestor cercetări au fost diseminate prin 10 publicații științifice, 4 conferințe, 2 expoziții internaționale și 6 expoziții naționale.

Keywords: urban passenger electric vehicle, traction system, hexaphase static converter, hexaphase asynchronous motor, mathematical models, laboratory stand, test methods, energy efficiency, reliability

The subject of the ELTRAC research program refers to developing and researching high-performance traction systems for trolleybuses/electrobuses consisting of electronic converters and hexaphase asynchronous motors. For the year 2023, actions focused on the development and testing of the six-phase electronic converter with two three-phase outputs and the adjustment of the phase shift between them, the testing of mock-ups in laboratory conditions, the obtaining of the operating and adjustment characteristics of the six-phase traction systems, the simulation of dynamic regimes and assessment of energy consumption of urban electric passenger vehicles.

In this context, the printed circuit board for separate adjustment of the two three-phase outputs and the phase shift between them was developed and manufactured to equip the hexaphase frequency converter with scalar control. Through testing, the power losses of the converter were assessed, as well as harmonic distortions that do not exceed standard limits.

Three asynchronous motors (three-phase, symmetrical hexaphase, and asymmetrical hexaphase) were tested on the test bench developed within the project, all rewound with stator winding with respective three-pole wiring diagrams based on an identical series motor. The motors were tested one at a time and powered adequately from the hexaphase converter to varying the supply frequency and torque of the mechanical load. As a result, the increase in the energy efficiency of hexaphase systems by 2-3% compared to the three-phase one and obtaining rigid mechanical adjustment characteristics in a wide range was noted. What is essential for autonomous electric vehicles is the high operating reliability of hexaphase traction systems when breaking one or two phases has been found.

Based on the developed model of the electrobus with the integration of the hexaphase traction system and mechanical transmission, vehicle dynamics and energy consumption were studied, and recommendations were formulated for the respective choice of transmission factor according to the standard driving cycle of the vehicle.

The domestic manufacturer of traction equipment and urban electric passenger vehicles, ÎTS Informbusiness, has shown interest in the results of the research on hexaphase traction systems, also contributing technically to the manufacture of the hexaphase converter.

The results of this research were disseminated through 10 scientific publications, 4 conferences, 2 international exhibitions, and 6 national exhibitions.

Conducătorul de proiect  /dr.NUCA Ilie

Data: 15.01.2024

LȘ

**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice
publicate în anul 2023 în cadrul proiectului din Programul de Stat**

**Sisteme integrate autohtone de tracțiune electrică pentru
vehicule urbane de pasageri**

1. Monografii (recomandate spre editare de consiliul științific/senatul organizației din domeniile cercetării și inovării)

1.1. monografii internaționale

1.2. monografii naționale

2. Capitle în monografii naționale/internaționale

3. Editor culegere de articole, materiale ale conferințelor naționale/internaționale

4. Articole în reviste științifice

4.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS (cu indicarea factorului de impact IF)

4.2. în alte reviste din străinătate recunoscute

1. Iu.Nuca, Il.Nuca, P.Todos, V.Cazac, D.Kostic, ”Power Quality Indices of Six-Phase Asynchronous Motor Drive Prototype”, Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering . Vol XX, 2022, Iss.4. (Nov.2022), p.171-174. ISSN 1584 – 2665. <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2022/ANNALS-2022-4-24.pdf> (*publicat în 2023*)

4.3. în reviste din Registrul National al revistelor de profil, cu indicarea categoriei

2. A.Tarlajanu, ”Methodological and instrumental support to development of electric traction systems with asynchronous motor”, Journal of Engineering Sciences, Nr. 4 / 2022 / ISSN 2587-3474 /ISSNe 2587-3482 (categoria B+).
[https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(4\).06](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(4).06) (*publicat în 2023*)

4.4. în alte reviste naționale

5. Articole în culegeri științifice naționale/internaționale

5.1. culegeri de lucrări științifice editate peste hotare

5.2 culegeri de lucrări științifice editate în Republica Moldova

6. Articole în materiale ale conferințelor științifice

6.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

3. P. Todos, I. Nuca, G. Terteia and V. Cazac, "Identification of Parameters and Power Losses of Six-Phase Asynchronous Machines by Induction Regenerative Method," *2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, Cluj-Napoca, Romania, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/MPS58874.2023.10187447 (*Indexare în BDI IEEE Xplore și SCOPUS*)
4. A.Moldovan, "Automation and integration in SCADA system of the wastewater treatment plant in Cantemir, Moldova," *2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, Cluj-Napoca, Romania, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/MPS58874.2023.10187500 (*Indexare în BDI IEEE Xplore și SCOPUS*)
5. Il.Nuca, V. Cazac, A. Motroi, C. Ghicrtescu and V. Eșanu, "Development of the Six-Phase Static Converter with Symmetrical and Asymmetrical Control for Electric Vehicles," *2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)*, Craiova, Romania, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290760 (*Indexare în BDI IEEE Xplore și SCOPUS*)
6. Il. Nucă, A. Turcanu, V. Cazac, "Performance Analysis of an Urban Passenger Vehicle Powertrain Operating in Various Driving Cycle and Speed Profiles Using MatLab Simscape Models," *2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)*, Craiova, Romania, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290803 (*Indexare în BDI IEEE Xplore și SCOPUS*)
7. P. Todos, G. Terteia, Il. Nuca, V. Cazac, "Test-Based Analysis of Fault Tolerance Capability of Six-Phase Asynchronous Motors," *2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)*, Craiova, Romania, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290801 (*Indexare în BDI IEEE Xplore și SCOPUS*)
8. G.Terteia, P.Todos, Il.Nuca, V.Cazac. The fault working regimes of the six-phase symmetrically wound asynchronous motor. *International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering. NUST POLITEHNICA Bucharest, Romania, November 16–18, 2023 (în curs de apariție)*
 - 6.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)
 - 6.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională
 - 6.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

7. Teze ale conferințelor științifice

- 7.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)
9. Răileanu C., Burduniuc M., Guțu G. "Motor Hexafazat". *International Fair of Innovation And Creative Education for Youth (ICE-USV)*, 7th edition, July, 7 - 9, 2023, Suceava. Book of abstracts., pp.67-68.
10. Vîrlan G., Motroi A., Cazac V., Nuca I. Convertor Static Hexafazat Simetric. *International Fair of Innovation And Creative Education for Youth (ICE-USV)*, 7th edition, July, 7 - 9, 2023, Suceava. Book of abstracts., pp.57-58.
 - 7.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)
 - 7.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională
 - 7.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

Notă: vor fi considerate teze și nu articole materialele care au un volum de până la 0,25 c.a.

8. Alte lucrări științifice (recomandate spre editare de o instituție acreditată în domeniu)

8.1. cărți (cu caracter informativ)

8.2. enciclopedii, dicționare

8.3. atlase, hărți, albume, cataloage, tabele etc. (ca produse ale cercetării științifice)

9. Brevete de invenții și alte obiecte de proprietate intelectuală, materiale la saloanele de invenții

11. MOTOR HEXAFAZAT. Răileanu C., Burduniuc M., Guțu G. *International Fair of Innovation And Creative Education for Youth (ICE-USV), 7th edition, July, 7 - 9, 2023, Suceava. Special prize.*

12. CONVERTOR STATIC HEXAFAZAT SIMETRIC. Vîrlan G., Motroi A., Cazac V., Nuca I. *International Fair of Innovation And Creative Education for Youth (ICE-USV), 7th edition, July, 7 - 9, 2023, Suceava. Gold medal*

13. METODA INDUCȚIEI CU RECUPERARE DE TESTARE A MOTOARELOR ASINCRONE HEXAFAZATE. Todos P., Terteza G., Nuca I., Cazac V. *International Exhibition of Inventions INVENTICA 2023, Iași, România, 21.06.2023-23.06.2023. Gold medal*

10. Lucrări științifico-metodice și didactice

10.1. manuale pentru învățământul preuniversitar (aprobate de ministerul de resort)

10.2. manuale pentru învățământul universitar (aprobate de consiliul științific /senatul instituției)

10.3. alte lucrări științifico-metodice și didactice

10.4 **Standardele de calificare** pentru programele de studii universitare licență (nivelul de calificare 6 CNC) și master (nivelul de calificare 7 CNC), Ordin MEC nr.117 din 15.02.2023:

14. Programul de licență 0710.2 Inginerie și managementul calității (grupul de elaborare: Nuca I., Tarlajanu A., Todos P., ș.a.). Aprobata de Consiliului Național pentru Calificări, 20.12.2023

15. Programul de master 0710.2 Inginerie și managementul calității (grupul de elaborare: Nuca I., Tarlajanu A., Todos P., ș.a.). Aprobata de Consiliului Național pentru Calificări, 20.12.2023

16. Programul de licență 0713.3 Ingineria sistemelor electromecanice (grupul de elaborare: Todos P., Nuca I., Tarlajanu A., ș.a.). Aprobata de Consiliului Național pentru Calificări, 20.12.2023

17. Programul de licență 0713.4 Ingineria sistemelor de energii regenerabile (grupul de elaborare: Todos P., Nuca I., Tarlajanu A., ș.a.). Aprobata de Consiliului Național pentru Calificări, 20.12.2023


**Executarea devizului de cheltuieli,
conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare pentru anul 2023**

Cifrul proiectului: **20.80009.5007.29**

Cheltuieli, mii lei				
Denumirea codurilor economice	Cod		Anul de gestiune	
	Eco (k6)	Aprobat	Modificat +/-	Precizat
Remunerarea muncii angajaților conform statelor	211180	642,8		642,8
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii (24%)	212100	154,3		154,3
Deplasări de serviciu în interiorul țării	222710			
Deplasări de serviciu peste hotare	222720	24,6	-0,3	24,3
Servicii editoriale	222910	10,0		10,0
Servicii de cercetări științifice contractate	222930			
Servicii neatribuite altor aliniate	222990			
Cheltuieli curente neatribuite la alte categorii	281900	10,5	+0,3	10,8
Procurarea mașinilor și utilajelor	314110	82,0		82,0
Procurarea produselor alimentare	333110			
Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110			
Procurarea materiale de uz gospodăresc și rechizite de birou	336110			
Procurarea altor materiale	339110			
TOTAL		924,2		924,2

Notă: În tabel se prezintă doar categoriile de cheltuieli din contract ce sunt în execuție și modificările aprobate (după caz)

Rector U.T.M.


(semnătura)

dr. hab. Viorel BOSTAN

(numele, prenumele)

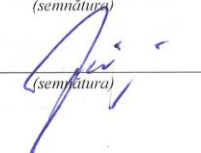
Contabil (economist)


(semnătura)

Victoria IOVU

(numele, prenumele)

Conducătorul de proiect


(semnătura)

Dr. Ilie NUCĂ

(numele, prenumele)

Data:

LS



Componența echipei proiectului conform contractului de finanțare 2023

Cifra proiectului 20.80009.5007.29


Echipa proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului) pentru 2023						
Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Nuca Ilie	1957	dr.	0,50	03.01.2023	31.12.2023
2.	Ambros Tudor	1938	dr.hab.	0,25	03.01.2022	30.06.2023
3.	Todos Petru	1942	dr., prof.univ	0,50	03.01.2022	31.12.2023
4.	Cazac Vadim	1987	dr.	0,50	03.01.2022	31.12.2023
5.	Tarlaianu Alexandru	1952	dr.	0,50	03.01.2022	30.06.2023
6.	Burduniuc Marcel	1977	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023
7.	Gherțescu Corneliu	1969	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023
8.	Motroi Alexandr	1985	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023
9.	Tertea Ghenadie	1975	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023
10.	Țurcanu Adrian	1976	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023
11.	Mangos Octavian	1993	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023
12.	Moldovan Artiom	1994	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023
13.	Nucă Iurie	1990	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023
14.	Grușac Lucian	1998	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023
15.	Brînduș Svetlana	1986	f-grad	0,50	03.01.2022	31.12.2023

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform contractului de finanțare	46,7
--	------

Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2023					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării
1.					
2.					

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor la data raportării	46,7
---	------

Rector U.T.M.


(semnătura)

dr. hab. Viorel BOSTAN

(numele, prenumele)

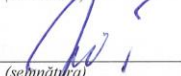
Contabil (economist)


(semnătura)

Victoria IOVU

(numele, prenumele)

Conducătorul de proiect


(semnătura)

Dr. Ilie NUCĂ

(numele, prenumele)

Data:

LȘ



LISTA TEZELOR DE LICENȚĂ
elaborate pe tematica proiectului sub conducerea membrilor echipei ELTRAC

Nr. d/o	Numele, prenumele studentului	Tema tezei de master	Conducătorul tezei)	Anul susținerii
1.	Golban Gheorghe	Proiectare unui sistem de tracțiune pentru vehicule de pasageri cu motor asincron multifazat	Lector univ. Cazac Vadim	2021
2.	Gorobcean Marcel	Aționarea electrică a unui scaun cu roțile pentru invalizi	Lector.univ., Gherțescu Corneliu	2021
3.	Dumanov Vladislav	Testarea mașinilor electrice asincrone multifazate cu rotorul în scurtcircuit	Prof.univ., dr. Todos Petru	2021
4.	Spînu Nicolae	Proiectarea unui sistem autonom de tracțiune electrică pentru electrobuze	Lector univ. Cazac Vadim	2021
5.	Șestovschi Laurențiu	Elaborarea invertorului de tensiune pentru alimentarea motorului asincron hexafazat	Lector.univ., Gherțescu Corneliu	2021
6.	Untila Gheorghe	Proiectarea sistemului de încărcare de la surse regenerabile a bateriilor unui electrobuz	Lector univ., Cazac Vadim	2021
7.	Zolotoi Ion	Proiectarea și elaborarea mostrei motorului asincron cu 6 faze	Lector univ., Burduniuc Marcel	2021
8.	Guțu Grigore	Studiul schemelor de conexiune a înfășurării statorice pentru motorul asincron hexafazat	Lector univ., Burduniuc Marcel	2022
9.	Ari Rifat	Proiectarea sistemului de tracțiune a electromobilului de capacitate mică	Lector.univ., Gherțescu Corneliu	2023
10.	Virilan Gheorghe	Elaborarea algoritmilor de control ai corwertoarelor hexafazate de tracțiune pentru vehicule electrice	conf. univ., dr. Nuca Ilie	2023

LISTA TEZELOR DE MASTER
elaborate pe tematica proiectului sub conducerea membrilor echipei ELTRAC

Nr. d/o	Numele, prenumele studentului	Tema tezei de master	Conducătorul tezei)	Anul susținerii
1.	Pismennîi Ivan	Dezvoltarea unțărilor individuale de transport cu tracțiune electrică	prof.univ.dr. Petru TODOS	2021
2.	Țăruș Mihai-Adrian	Elaborarea sursei de alimentare a motorului asincron hexafazat în baza convertoarelor frecvențiale trifazate	Conf.univ.dr. Nuca Ilie	2021
3.	Hartup Gabriela	Analiza soluțiilor moderne de masurare și management a transferului de energie electrica dintr-o casa inteligenta	prof.univ.dr. Petru TODOS	2021
4.	Luminița Bogdan	Stand experimental pentru studiul reguletoarelor PID utilizate la reglarea vitezei motorului asincron prin modificarea frecvenței tensiunii de alimentare	prof.univ.dr. Petru TODOS	2021
5.	Grușac Lucian	Dimensionarea sistemului de tracțiune al electromobilului transformat dintr-o mașină pe combustie	d.conf.Ilie Nuca	2022
6.	Damian Leonid	Proiectarea și elaborarea unui inverter de frecvență hexafazat	Lect.univ. Cazac Vadim	2022
7.	Guțu Mihai	Studiul experimental a mașinii de inducție hexafazate cu convertor de frecvență	Prof.univ.dr. Todos Petru	2022
8.	Untila Gheorghe	Modernizarea stației de tracțiune de curent continuu pentru troleibuze	Lect.univ. Cazac Vadim	2023



CERTIFICAT DE CONFIRMARE

privind utilizarea rezultatelor cercetărilor realizate în cadrul
**Programului de Stat nr. 20.80009.5007.29 „Sisteme integrate autohtone
de tracțiune electrică pentru vehicule urbane de pasageri”**

Compania ÎTȘ Informbusiness SRL este un dezvoltator și producător atât de echipamente electronice și sisteme de tracțiune, cât și de vehicule electrice urbane de pasageri (electrobuze/troleibuze) din Republica Moldova. Pe durata de realizare a proiectului de cercetare în cauză compania a acordat suport tehnic la confecționarea machetei convertorului hexafazat de tensiune pentru testarea în condiții de laborator a sistemelor de tracțiune cu motoare asincrone hexafazate.

Prin prezentul certificat se confirmă faptul, că **metodologia de proiectare, algoritmi de control și metodologia de testare a convertoarelor de tensiune hexafazate** elaborate și aprobate în cadrul Programului de Stat nr. 20.80009.5007.29 „Sisteme integrate autohtone de tracțiune electrică pentru vehicule urbane de pasageri” vor fi utilizate de către compania ÎTȘ Informbusiness SRL la dezvoltarea noilor vehicule electrice de pasageri cu mers autonom.

Director General ÎTȘ Informbusiness SRL



Vitalie EȘANU

**EXTRAS din Procesul Verbal nr. 1
al ședinței Consiliului Științific UTM
din 11 ianuarie 2024**

Prezenți: 15 membri ai Consiliului științific al UTM – dr. hab., prof. univ. Tronciu Vasile, dr., conf. univ. Siminiuc Rodica, dr. hab., prof.univ. Bostan Viorel; acad. Bostan Ion; dr. hab., prof. univ. Bugaian Larisa dr. hab., prof. univ. Stoicev Petru; dr. hab., prof. univ. Tatarov Pavel; dr. hab., prof. univ. Valeriu Dulgheru; dr. hab., prof. univ. Rusu Ion; dr. hab., prof. univ. Albu Svetlana; dr., prof. univ. Șontea Victor; dr., conf. univ. Zaporojan Sergiu, dr., conf. univ. Moraru Vasile, dr., conf. univ. Stratan Ion, doctorandă Railean Daniela.

S-A DISCUTAT: audierea rezultatelor științifice obținute pe parcursul anului 2023 în cadrul proiectului Program de Stat: *20.80009.5007.29 "Sisteme integrate autohtone de tracțiune electrică pentru vehicule urbane de pasageri"*, Conducător de proiect (partener): *dr. Nucă Ilie.*

S-A DECIS: aprobarea rezultatelor științifice obținute pe parcursul anului 2023 în cadrul proiectului Program de Stat: *20.80009.5007.29 "Sisteme integrate autohtone de tracțiune electrică pentru vehicule urbane de pasageri"*.

V. J.



Președinte al CȘ UTM,
Vasile TRONCIU, dr. hab., prof. univ.

Secretar al CȘ UTM,
Rodica SIMINIUC, dr., conf. univ.