

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Științe Inginerești



TEZĂ DE DOCTORAT

- Rezumatul tezei de doctorat -

**CONTRIBUȚII LA CRESTEREA RANDAMENTULUI UNEI
MASINI TERMICE CU AER CALD, PRIN CONTROLUL
MIȘCĂRII ÎN SISTEME ELASTICE CUPLATE MAGNETO-
MECANIC**

Doctorand,
Fiz. Nicușor NISTOR

Conducător științific,
Prof univ. dr. Constantin GHEORGHIȘ

Seria I 4 Nr. 33

GALAȚI, 2016

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala doctorală de Științe Inginerești



TEZĂ DE DOCTORAT

- Rezumatul tezei de doctorat -

CONTRIBUȚII LA CRESTEREA RANDAMENTULUI UNEI
MASINI TERMICE CU AER CALD, PRIN CONTROLUL MIȘCĂRII
ÎN SISTEME ELASTICE CUPLATE MAGNETO-MECANIC

Doctorand: Fiz. Nicușor NISTOR

Conducător științific,

Prof univ.dr. Constantin GHEORGHIȘ

Referenți științifici

Prof univ.dr. Dana-Ortansa DOROHOI

Prof univ.dr.ing. Dumitru NEDELICU

Conf. univ. dr. ing. Nelu CAZACU

Seria I 4 Nr. 33

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul ȘTIINȚE INGINEREȘTI

Seria I 1: **Biotehnologii**

Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**

Seria I 3: **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

Domeniul ȘTIINȚE ECONOMICE

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

Domeniul ȘTIINȚE UMANISTE

Seria U 1: **Filologie- Engleză**

Seria U 2: **Filologie- Română**

Seria U 3: **Istorie**

GALAȚI, 2016

Cuvânt înainte

Prezenta teză de doctorat își propune prin simplitatea și originalitatea ideilor promovate să fie o nouă direcție de cercetare și o soluție tehnică viabilă și posibilă de implementat acolo unde se dorește recuperarea energiei în sisteme energetice cu gradienti mici de temperatură. Aceste tehnologii pot fi și chiar se doresc a fi prietenoase mediului tocmai prin aceea că folosesc ca surse de energie primară energia solară, sau energia obținută din recuperarea agenților termici industriali cu gradienti mici de temperatură. Consider că rezultatele prezentate în lucrare, vor duce la o îmbunătățire substanțială în tehnologia construirii mașinilor termice cu aer cald.

Mulțumiri.

Doresc să aduc mulțumiri Bunului Dumnezeu pentru sănătate și ajutorul dat pentru finalizarea cercetărilor teoretice și experimentale prezentate în prezenta teză de doctorat. Doresc să mulțumesc colectivului de cercetare științifică, format din oameni dedicați și înzestrați cu reale valori științifice și profesionale, care mi-au îndrumat activitatea. Vreau să-i mulțumesc în mod deosebit domnului conducător de doctorat, prof. univ. dr. fiz. Constantin Gheorghieș pentru îndrumare științifică, și pentru că m-a coordonat cu profesionalism într-o manieră elegantă și distinsă. De asemenea, mulțumesc domnilor profesori din comisia de îndrumare: prof. univ. dr. ing. Tănase Panait, conf. univ. dr. fiz. Murariu Gabriel, conf. univ. dr. ing. Nelu Cazacu și conf. univ. dr. ing. Sorin Ciortan, pentru sprijin și îndrumări. Exprim mulțumirile mele soției și celor apropiați pentru sprijin și înțelegere și în special fetiței mele Ioana-Denisa, care în tot acest timp a fost lipsită de atenția mea. Dedic această lucrare de cercetare tatălui meu Ion-Vasile, care pe întregul parcurs al copilăriei mele, prin micile invenții, îmbunătățiri și automatizări pe care le aducea obiectelor electrocasnice, mi-a stimulat creativitatea. Doresc ca lucrarea să fie de o reală contribuție în beneficiul progresului ingineriei industriale și nu numai.

Structura rezumatului tezei.

Prezentul rezumat al tezei de doctorat conține 70 de pagini structurate în 6 capitole. Rezumatul lucrării mai conține 44 figuri grafice și 52 formule matematice. Pentru elaborarea rezumatului tezei s-au utilizat 19 referințe bibliografice. Conținutul lucrării este structurat astfel:

- Primul capitol, conține 7 de pagini și este o prezentare a stadiului actual al dezvoltării motoarelor cu aer cald dar și câteva noțiuni teoretice, ce vor fi folosite în lucrare, prezentate succint.
- Al doilea capitol, conține 10 de pagini și cuprinde o motivație a alegerii și prezentarea raționamentelor ce au condus la prezentul studiu, însoțit de variante experimentale ale unui motor de concepție originală.
- Al treilea capitol, conține 6 de pagini și este prezentat modul de desfășurare al experimentelor, de înregistrare, etalonare și prelucrare al parametrilor despre procesele mecanice și termodinamice implicate.
- Capitolul al patrulea, conține 24 de pagini și este o amplă incursiune în modelarea analitică și numerică, a fenomenelor mecanice și termodinamice ce au loc în motorul termic experimental inventat.
- Capitolul al cincilea, conține 13 de pagini și în acest capitol este prezentat un studiu comparativ, cumulativ și optimal al celor două mari categorii de procese fizice ale motorului experimental: mecanic și termodinamic.
- Capitolul al șaselea conține 6 de pagini și reprezintă o scurtă sinteză a lucrării, o revizie critică asupra modului de abordare a lucrării, dar și o descriere a direcțiilor de cercetare deschise și posibile. Lista lucrărilor și bibliografia, conțin adițional 4 pagini ale lucrării.

Cuprins

Introducere.

Cuvânt înainte. Mulțumiri.

Cuprins.

| | |
|---------------------------|-----------|
| Introducere..... | pagina 1. |
| Notații și abrevieri..... | pagina 2. |
| Lista de figuri..... | pagina 3. |

Capitolul 1. Stadiul actual al cercetării în domeniul motoarelor cu aer cald.

| | |
|---|------------|
| 1.1 Motorul termic cu aer cald, descriere și principii de funcționare..... | pagina 5. |
| 1.2 Motoare cu aer cald existente, avantaje și dezavantaje, scurt istoric al invențiilor în domeniu. | pagina 8. |
| 1.3 Concluzii..... | pagina 11. |

Capitolul 2. Motor experimental, cu aer cald de concepție originală, funcționând cu opriri controlate.

| | |
|--|------------|
| 2.1 Variantă propusă “Motor cu opriri controlate”, descrierea dispozitivului experimental și principii de funcționare..... | pagina 12. |
| 2.2 Concluzii ale alegerii și realizării motorului experimental bazat pe principii inovative..... | pagina 21. |

Capitolul 3. Analiza și prelucrarea datelor experimentale.

| | |
|--|------------|
| 3.1 Dispozitive de măsurare a principalilor parametri de funcționare, metode utilizate și metode privind achiziția în calculator a datelor experimentale. | pagina 22. |
| 3.2 Rezultate experimentale obținute în urma măsurărilor care dovedesc modul de funcționare modificat din punct de vedere mecanic și termodinamic..... | pagina 24. |
| 3.3 Concluzii ale analizei și prelucrării datelor experimentale..... | pagina 27. |

Capitolul 4. Modelarea matematică, analitică și numerică a proceselor mecanice și termodinamice, ce stau la baza funcționării dispozitivului experimental “Motor cu aer cald, cu opriri controlate”.

| | |
|--|------------|
| 4.1 Metoda analitică de integrare a ecuației diferențiale ce descrie mișcarea sistemului simplu oscilator masa-resort în câmp magnetic neliniar, obținerea de soluții eliptice și aplicații tehnice..... | pagina 28. |
| 4.2 Metoda analitică pentru integrarea unui sistem de două ecuații diferențiale de ordinul II, neliniare, cuplate și omogene, ce descriu cazul ideal al tipului de mișcare implicat în funcționarea de ansamblu a motorului, și posibile aplicații tehnice. Obținerea opririlor controlate în cazul ideal..... | pagina 30. |

| | | |
|-----|--|------------|
| 4.3 | Calculul numeric al transferului de căldură și al lucrului mecanic total în motorul cu funcționare continuă și motorul cu opriri controlate, pe baza prelucrării datelor experimentale..... | pagina 34. |
| 4.4 | Calculul efectuat în urma prelucrării datelor experimentale pentru aflarea randamentului motorului experimental în timpul funcționării în regim continuu și în regimul de opriri controlate. Limitări funcționale în obținerea maximului de eficiență..... | pagina 45. |
| 4.5 | Concluzii ale modelării matematice analitice și numerice ale fenomenelor mecanice și termodinamice..... | pagina 51. |

Capitolul 5. Studiul fenomenelor cumulate, mecanic și termodinamic, ce intervin în funcționarea motorului cu aer cald cu opriri controlate. Implicații mecanice și termodinamice.

| | | |
|-----|---|------------|
| 5.1 | Timpii de tranzit și timpul de oprire. Posibilități de control al timpului de tranzit și al timpului de oprire, prin modificarea constantelor fizice ale sistemului..... | pagina 52. |
| 5.2 | Influența timpilor de oprire și de tranzit în eficiența proceselor termodinamice ce determină randamentul..... | pagina 56. |
| 5.3 | Studiu privind posibilitatea de optimizare a funcționării motorului cu aer cald, cu opriri controlate, prin controlul proceselor mecanice și termodinamice folosind funcții optimale..... | pagina 57. |
| 5.4 | Perspective de implementare tehnologică, a curbei de funcționare optimă, și autocontrolul procesului complex din motor. Posibilitatea transformării energiei mecanice în energie electrică..... | pagina 61. |
| 5.5 | Concluzii ale implicațiilor mecanice și termodinamice ale opririlor controlate..... | pagina 64. |

Capitolul 6. Concluzii generale, contribuții originale și perspectivele cercetării.

| | | |
|-----|---|------------|
| 6.1 | Prezentarea concluziei interpretării calculului comparativ al eficienței energetice ale motorului studiat în diferite regimuri de funcționare. Rezultate care atestă creșterea eficienței energetice, pentru gradienti mici de temperatură, cu ajutorul opririlor controlate..... | pagina 65. |
| 6.2 | Sistematizarea ideilor noi ce reprezintă contribuția originală a autorului și perspective de dezvoltare ulterioară..... | pagina 68. |
| 6.3 | Posibilitatea de implementare industrială a unui dispozitiv de tip „Motor cu aer cald cu opriri controlate”, ca mod de recuperare a energiei din surse termice cu diferențe mici de temperatură..... | pagina 70. |

Lucrări publicate sau comunicate pe problematica tezei de doctorat..... pagina 71.

Referințe bibliografice..... pagina 73.

Summary

Foreword. Thanks.

Summary.

| | |
|-----------------------------------|---------|
| Introduction. | page 1. |
| Notations and abbreviations. | page 2. |
| List of figures. | page 3. |

Chapter 1. The actual state of research in the domain of hot air engines.

| | |
|---|----------|
| 1.1 The hot air engine, description and operating principles..... | page 5. |
| 1.2 Existing hot air engines, advantages and disadvantages, a brief history of the inventions in this field. | page 8. |
| 1.3 Conclusions. | page 11. |

Chapter 2. The hot air experimental motor with original design, operating with controlled halts.

| | |
|--|----------|
| 2.1. The proposed version " A motor with controlled halts", the experimental device description and operating principles. | page 12. |
| 2.2 Conclusions on the choice and achieving the experimental motor based on innovative principles. | page 21. |

Chapter 3. Analysis and experimental data.

| | |
|---|----------|
| 3.1 Measuring devices of the main operating parameters, the used methods and computer methods for the acquisition of experimental data. | page 22. |
| 3.3 The experimental results obtained from measurements that prove the changed operation way, from mechanical and thermodynamic point of view. | page 24. |
| 3.5 Conclusions of analysis and experimental data processing. | page 27. |

Chapter 4. Mathematical, analytical and numerical modeling of the mechanical and thermodynamic processes that underpin the operation of the experimental "hot air motor, with controlled halts".

| | |
|---|----------|
| 4.1 The analytical method for integrating the differential equation describing the motion of a simple mass-spring oscillator system in nonlinear magnetic field, achieving elliptical solutions and technical applications. | page 28. |
| 4.2 The analytical method for integrating a system of two second order differential equations, nonlinear, coupled and homogeneous, describing the ideal type of movement involved in the overall engine functioning and possible technical applications. Getting controlled halts in the ideal case. | page 30. |
| 4.3 Numerical calculation of the heat transfer and total mechanical work in the continuous functioning motor with controlled halts based on experimental data processing. | page 34. |
| 4.4 Calculations from experimental data processing for finding the motor efficiency during the | |

functioning in continuous and controlled shutdown mode. Functional limitations in obtaining maximum efficiency.page 45.

4.5 Conclusions of analytical and numerical mathematical modeling of the mechanical and thermodynamic phenomena.....page 51.

Chapter 5. Study of the mechanical and thermodynamic cumulative phenomena, involved in the operation of the hot air motor with controlled halts. Mechanical and thermodynamic implications.

5.1 Transit times and halt time. Possibilities of control transit time and stop time, by changing the physical constants of the system.page 52.

5.2 The influence of halt times and tranzit times in efficiency of the thermodynamic processes that determine its efficiency.page 56.

5.3 Study on the possibility of hot air motor optimization, with controlled halts by controlling the mechanical and thermodynamic processes using optimal functions.page 57.

5.4 Technological implementation perspective of the optimal functioning curve, and self-control of the complex process inside the motor. The possibility of converting mechanical energy into electricity.page 61.

5.5 Conclusions of mechanical and thermodynamic implications of controlled halts.page 64.

Chapter 6. General conclusions , original contributions and research perspectives.

6.1 The conclusions presentation of comparative calculations interpretation of the motor energetical efficiency in various operating modes . Results attesting the energy efficiency increase, for small temperature gradients , using controlled haltspage 65.

6.2. Systematizing of the new ideas what represents the author's original contribution and perspectives for further development.page 68.

6.3 The possibility of implementing an industrial - type device "Hot air engine with controlled halts" as a solution of energy recovering from thermal sources with small differences of temperature.page 70.

Published works or communicated on the thesis issue.page 71.

Bibliographical references.page 73.

Introducere.

Motoarele termice sunt în prezent la apogeul lor constructiv în urma rezultatelor și eforturilor intelectuale ale multor cercetători care și-au adus contribuția la dezvoltarea și elaborarea de noi modele cât mai eficiente, fiabile și silențioase.

O clasă aparte de motoare termice sunt cele cu aer cald, a căror principală calitate este aceea că nu necesită ardere internă, deci funcționează fără explozie, fiind astfel silențioase și nu necesită niște caracteristici speciale în privința sursei de căldură pentru funcționare. Ele sunt în prezent folosite în condiții extreme, în adâncul marilor, pe submarine, dar și în profunzimea spațiului cosmic, în sonde și stații spațiale în scopul conversiei energiei termice în energie electrică.

În anul 1907, Ossian Ringbom a demonstrat că motorul cu aer cald inventat de către Robert Stirling poate fi îmbunătățit, cu ajutorul introducerii conceptului de modificare a vitezei de transfer termic în raport cu viteza părții mobile a sistemului ce dezvoltă lucru mecanic. El a observat că uneori gazul de lucru și parametrii termodinamici impun timpi și viteze de transfer termic proprii, față de mișcarea celorlalte subansamble care sunt influențate de inerția mecanică, astfel încât subsistemele fiind separate ele funcționează cu timpi proprii și în cele din urmă își sincronizează frecvența de mișcare "așteptându-se". În prezentarea brevetului de invenție, Ossian Ringbom menționa: "*The aim of the present invention is to produce a hot air engine in which the movement of the displacing piston is obtained without the connection of rods or cranks or eccentrics or other mechanical parts of the engine, but solely by the expansion of the heated air and the weight of the piston; and to obtain at the same time a simple regulating device for the velocity.*"(US Patent No. 856,102 of 1907).

Ideea principală expusă în paginile acestei lucrări o reprezintă perfectarea ideii expuse de către Ossian Ringbom, în sensul ca se propune un nou tip de motor în care fenomenele termodinamice, nu numai ca sunt complet independente ca timp, de inerția mecanică, ci fenomenele termodinamice chiar reglează mișcarea subansamblelor mecanice, producând un timp optim de transfer termic, (acest fapt este întâlnit sub alte forme, în motoarele cu ardere internă sub numele de controlul dinamic al aprinderii).

Deoarece în funcționarea motorului propus s-a renunțat complet la inerția stocată în volant, sub forma de moment cinetic de rotație, pistoanele noii mașini termice sunt supuse unei legi de mișcare determinate de interacțiunea unor sisteme elastice aflate în câmpuri nelineare, care produc un fenomen numit în cele ce urmează "opriri controlate" care determină un transfer special de căldură, pe fiecare ciclu de funcționare. În acest fel, "opririle controlate" vor fi puternic dependente de timpul optim al schimbului de căldură. Eficiența transferului energetic va fi în continuare dependentă de parametrii termodinamici cunoscuți, dar va avea de asemenea o componentă ce depinde de timpul optim de transfer.

Introduction

Thermal engines are currently at their constructive peak as a result of researchers' intellectual efforts, who brought their huge contribution in the development of this field, creating new and more efficient models, quiet and reliable.

The hot air motors represent a special class of heat engines. Their main virtue is that it requires no combustion, so it works without explosion, being quieter and do not require some special features for operation in terms of the heat source. They are currently used in extreme conditions in the deep sea, on submarines, but also in the depth of outer space, in the space probes and stations, in order to obtain the thermal energy conversion into electricity.

Ossian Ringbom demonstrated in 1907 that the hot air engine invented by Robert Stirling could be improved introducing the concept of amending the rate of heat transfer, relative to the speed of the mobile part included in the system that develops mechanical work. He sometimes observed that the working gas and the thermodynamic parameters require time and a self-speed during the thermal transfer, in comparison with the movement of other parts that are influenced by mechanical inertia. Therefore, the subsystems being separated, they work with self-times and ultimately synchronize their frequency motion, "expecting" each other.

In the patent presentation, Ossian Ringbom mentioned: "*The aim of the present invention is to produce a hot air engine in which the movement of the displacing piston is obtained without the connection of rods or cranks or eccentrics or other mechanical parts of the engine, but solely by the expansion of the heated air and the weight of the piston; and to obtain at the same time a simple regulating device for the velocity.*" (US Patent No. 856,102 of 1907).

The main idea exposed in this paper is the concluding idea exposed by Ossian Ringbom, a new type of engine being proposed, in that thermodynamic phenomena are not only completely independent of time, respectively of mechanic inertia, but thermodynamic phenomena even adjusts the mechanical subassemblies movement, producing an optimal heat transfer time (this also occurs in other forms, in internal combustion engines known as the dynamic control of ignition).

Because in the proposed engine operation it was completely given up to the stored inertia in the flywheel, as a rotating angular momentum, the motion law of the pistons will be determined by the interaction between the elastic systems that are in nonlinear fields, producing so called "controlled halts" phenomenon, that cause an additional heat transfer per every operating cycle. In this way the "controled halts" will be dependent on the optimal time of the heat exchange. The energy transfer efficiency will still be dependent by the known thermodynamic parameters, nonetheless it will have a component that depends on the transfer optimum time.

Notații și abrevieri:

- $T^{(k)}$ – Temperatura, ca mărime de stare a unui sistem termodinamic, exprimată în Kelvin.
- $T_1^{(k)}, T_2^{(k)}, T_3^{(k)}$ – Temperaturi curente măsurate în Kelvin.
- $T_S^{(k)}$ – Temperatura solid, folosită în transferului convectiv de căldură al legii de răcire Newton.
- $T_F^{(k)}$ – Temperatura fluid, folosită în transferului convectiv de căldura al legii de răcire Newton.
- β – Parametru dependent de temperatură, folosit în simplificarea calculelor randamentului.
- T_1, T_2 – Perioadele de oscilații, măsurate în secunde, ale diverselor mărimi oscilatorii.
- ω_1, ω_2 – Pulsațiile proprii ale oscilatorilor independenți sau cuplați.
- ξ – Raportul de comprimare al motorului termic.
- ε – Distanța inițială, între magneții permanenți, când oscilatorul este în poziția de echilibru.
- k_1, k_2 – Constante elastice ale resoartelor celor doi oscilatori ai sistemului mecanic propus.
- k_3 – Constante magnetice, dependente de inducția magnetică, a magneților permanenți.
- α_T – Coeficient de transfer termic, ce intervine în legea convecției.
- \bar{p} – Impulsul mecanic.
- p, q, n – Constante individuale introduse pentru simplificări ale formulelor matematice.
- μ – Vâscozitate dinamică.
- V_μ – Volumul molar, al gazului de lucru.
- ρ – Densitatea în general, sau densitatea fluidului de lucru.
- η – Randamentul mașinii termice, eficiența exprimată în procente.
- γ – Exponentul adiabatic al unui gaz.
- $L_{total\ efectuat}$ – Lucrul mecanic total efectuat de gazul de lucru.
- $Q_{absorbit}$ – Căldura absorbită, exprimată în jouli.
- V_1, V_2 – Volumul gazului de lucru, variabil datorat miscării pistonului, exprimat în dm^3 .
- v_1, v_2, v_n – Viteze maxime, medii sau momentane ale gazului de lucru sau a unor părți mobile.

- Re – Numărul Reynolds, corespunzător relațiilor criteriale ale similitudinii.
- Pr – Numărul Prandtl, corespunzător relațiilor criteriale ale similitudinii.
- Nu – Numărul Nusselt, corespunzător relațiilor criteriale ale similitudinii.
- λ – Coeficient de transfer termic conductiv, conductivitatea termică.
- C_p – Căldura specifică a unui gaz la presiune constantă.
- C_v – Căldura specifică a unui gaz la volum constant.
- m_1, m_2 – Masele oscilatorilor, primar și secundar.
- l – Lungimea drumului parcurs de gaz în mișcarea sa convectivă.
- S – Suprafața părților metalice fixe, care contribuie la transferul termic.
- x_{01} – Amplitudinea inițială, aplicată oscilatorului principal, în cazul simulării legii de mișcare.
- x_{02} – Amplitudinea inițială, aplicată oscilatorului secundar, în cazul simulării legii de mișcare.
- x_{final} – Poziția amplitudinii maxime a oscilatorilor mecanici.
- x_p – Poziția particulară ce intervine în zona neliniară, când se produce oprirea controlată.
- t – Timpul, în secunde, ca variabilă continuă, independentă și neinfluențabilă.
- τ – Interval de timp, în secunde, în general, în care se poate petrece un fenomen.
- τ_{oprire} – Intervalul de timp, în secunde, în care oscilatorul principal, împreună cu instalațiile aferente, se oprește prin producerea opririlor controlate.
- $\tau_{tranzit}$ – Intervalul de timp, în secunde, în care oscilatorul principal, împreună cu instalațiile aferente, se deplasează rapid, între stările staționare.
- τ_{izobar} – Intervalul de timp, în secunde, în care conform raționamentelor propuse în prezentul studiu, transformarea termodinamică se desfășoară la presiune constantă.
- τ_{izocor} – Intervalul de timp, în secunde, în care conform raționamentelor propuse în prezentul studiu, transformarea termodinamică se desfășoară la volum constant.
- φ – Unghi al pantei de inclinație, dependent de viteza oscilatorului principal, în timpul de tranzit.
- f – Frecvența de oscilație, măsurată în Hz, a componentelor oscilatorii.
- ν – Numărul de moli, ai gazului de lucru prezent în sistemul termodinamic.
- V_μ – Volumul molar, ca o constantă a gazului de lucru.

- χ – Factor de creștere al randamentului, la funcționarea cu opriri controlate, față de funcționarea continuă.
- ζ – Constante tranziționale ce intervin în rezolvarea ecuațiilor diferențiale, pentru condiții initiale.
- r – Parametrul rezolvantei algebrice, aplicat unei ecuației diferențiale de ordinul n , lineare, pentru rezolvare, conform modelului Euler.
- R – Constanta universală a gazelor perfecte.
- k – Constanta matematică artificial introdusă, ce intervine în argumentul excentricitate al funcției eliptice Jacobiene
- α – Constanta matematică artificial introdusă, ce intervine în argumentul timp al funcțiilor eliptice Jacobiene.
- $sn(\alpha, k)$ – este o funcție eliptică, definită de către Carl Jacobi, ca fiind o generalizare a funcției trigonometrice, sinus, notația similară fiind: *JacobiSn* (α, k).
- $cn(\alpha, k)$ – este o funcție eliptică, definită de către Karl Jacobi, ca fiind o generalizare a funcției trigonometrice, cosinus, în notație similară: *JacobiCn* (α, k).
- $dn(\alpha, k)$ – este o funcție mixtă, fără corespondent trigonometric, numită și funcție delta, cu rol în derivarea funcțiilor eliptice.

Lista de figuri folosite în conținutul rezumatului lucrării:

| | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1. Figura 1.1.....pagina 5. | 23.Figura 4.3..pagina 30. |
| 2. Figura 1.2.pagina 6. | 24.Figura 4.4.....pagina 32. |
| 3. Figura 1.3.....pagina 10. | 25.Figura 4.5.....pagina 32. |
| 4. Figura 2.1.pagina 12. | 26.Figura 4.6.....pagina 33. |
| 5. Figura 2.2.pagina 13. | 27.Figura 4.7.....pagina 34. |
| 6. Figura 2.3.pagina 14. | 28.Figura 4.8.....pagina 37. |
| 7. Figura 2.4.....pagina 15. | 29.Figura 4.9.....pagina 39. |
| 8. Figura 2.5.pagina 16. | 30.Figura 4.10.....pagina 41. |
| 9. Figura 2.6pagina 17. | 31.Figura 4.11.....pagina 42. |
| 10.Figura 2.7.....pagina 18. | 32.Figura 4.12.....pagina 43 |
| 11.Figura 2.8.pagina 19. | 33.Figura 4.13.....pagina 44. |
| 12.Figura 2.9.....pagina 20. | 34.Figura 4.14.....pagina 44. |
| 13.Figura 3.1.....pagina 22. | 35.Figura 4.15.....pagina 45. |
| 14.Figura 3.2.....pagina 23. | 36.Figura 4.16.....pagina 46. |
| 15.Figura 3.3.....pagina 24. | 37.Figura 4.17.....pagina 47. |
| 16.Figura 3.4.....pagina 25. | 38.Figura 4.18.....pagina 48. |
| 17.Figura 3.5.....pagina 25. | 39.Figura 4.19.....pagina 50. |
| 18.Figura 3.6.....pagina 26. | 40.Figura 5.1.....pagina 53. |
| 19.Figura 3.7.....pagina 26. | 41.Figura 5.2.....pagina 55. |
| 20.Figura 3.8.....pagina 27. | 42.Figura 5.3.....pagina 61. |
| 21.Figura 4.1.....pagina 28. | 43.Figura 5.4.....pagina 62. |
| 22.Figura 4.2.....pagina 29. | 44.Figura 5.5.....pagina 63. |

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL MOTOARELOR CU AER CALD.

1.1 Motorul termic cu aer cald, descriere și principii de funcționare.

Un motor termic este o mașină termică ce transformă energia căldurii în lucru mecanic util. El funcționează după un ciclu închis ca în figura 1.1, energia internă a fluidului de lucru ajunge la același nivel după parcurgerea unui ciclu termodinamic complet, motorul funcționând între două surse de căldură aflate la temperaturi diferite.

O parte din căldura primită de către mașina termică, o transformă în lucru mecanic util iar cealaltă parte este cedată sursei reci fiind considerată pierdere. Diferența celor două se regăsește în lucrul mecanic util.

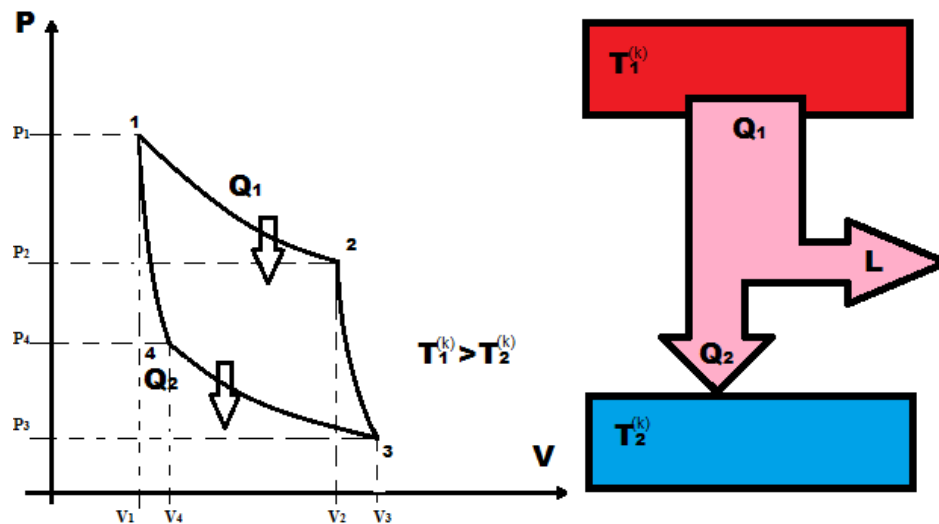


Figura 1.1 Schema unui motor termic cu ciclu termodinamic închis.

Motorul termic folosește forța presiunii unui fluid de lucru (aerul), pentru a exercita presiune asupra pistoanelor și care cu ajutorul ansamblurilor mecanice se transformă în energie mecanică.

Fluidul de lucru va suferi transformări termodinamice între stările: 1-2, 2-3, 3-4, 4-1, în cadrul unui ciclu termodinamic închis.

În cazul motoarelor termice cu ardere internă, transformările pot avea caracteristici variate în funcție de soluțiile constructive și funcționale, astfel ca la motorul Otto transformările 1-2 și 3-4 vor fi adiabate iar transformările 2-3 și 4-1 vor fi izocore, pe când la motorul Diesel, transformările 1-2 și 3-4 vor fi de asemenea adiabate iar transformările 2-3 și 4-1 vor fi modificate.

În figura de mai sus se poate observa cum prin transformarea 1-2 motorul primește căldură iar prin transformarea 3-2 motorul cedează căldura unei surse reci.

Cantitatea de căldură primită de la sursa caldă este mai mare decât cantitatea de căldură cedată către sursa rece, iar diferența se regăsește în lucrul mecanic produs de motor.

Pe de altă parte, din punct de vedere constructiv, la motorul cu ardere internă sursa caldă se află întotdeauna în interior și sursa rece este atmosfera, pe când motorul cu aer cald este un dispozitiv în care sursele de căldură se afla în exterior, iar mișcarea mecanică se obține cu ajutorul aducerii sau direcționării unei mase de aer (gazul de lucru) din zona caldă în zona rece, aerul modificându-și densitatea și volumul producând comprimări și destinderi ale unui piston de lucru.

Elementele principale ale unui motor cu aer cald [1], cât și o funcționare sumară vor fi prezentate cu ajutorul figurii de mai jos.

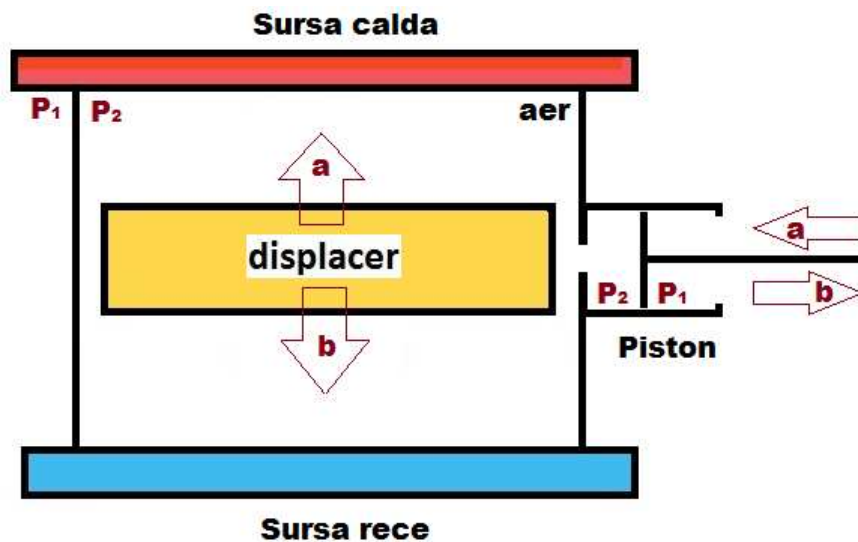


Figura 1.2 Explicație schematică, pe părți componente, a unui motor cu aer cald

Descriere:

Un astfel de motor funcționează ca un sistem termodinamic care spre deosebire de motorul cu ardere internă, nu schimbă substanță cu exteriorul și este compus dintr-o cameră etanșă ce conține un gaz de lucru care poate fi: aer, hidrogen, heliu, azot, etc.

Pieșele mobile sunt: *displacer-ul*¹ și pistonul.

Displacer-ul este un piston incomplet, modificat astfel încât să îndeplinească două deziderate:

¹ Termenul sau noțiunea de displacer, este împrumutată din literatura de specialitate în limba engleză, și reprezintă o parte funcțională a motoarelor cu aer cald cu rol de piston împingător, piston incomplet etanș în cilindru, sau piston care deplasează aerul, și vom folosi pe întreg parcursul lucrării, acest termen, pentru ușurința exprimării.

- sa fie inert termic pentru a nu influența procesele termodinamice.
- sa nu fie etanș cu pereții incintei, astfel încât el sa poată mișca aproape întreaga masa de aer din partea rece în partea caldă, fără frecări considerabile și fără consum mare de energie mecanică.

Pistonul de lucru trebuie:

- sa fie etanș cu pereții cilindrului.
- sa aibă inerție mecanică mică.

El este conectat în cele mai multe cazuri la un sistem bielă-manivelă care ajută la inversarea sensului de mers și în care se stochează energia mecanică sub forma de moment cinetic de rotație.

Ansamblul cilindru-piston comunică printr-un orificiu cu camera etanșă a motorului unde gazul de lucru suferă transformări ciclice în care se absoarbe căldură și se produce lucru mecanic. Displacer-ul este acționat de către un ansamblu mecanic acționat chiar de către pistonul de lucru sau de către variațiile de presiune ale gazului de lucru cu ajutorul unui alt piston auxiliar.

Gazul de lucru trebuie să îndeplinească câteva condiții esențiale:

- să aibă conductibilitate și capacitate calorică mare.
- să aibă vâscozitate mică și să nu sufere transformări de fază la diferențele de temperatură uzuale.

Cele două surse de căldură rece și caldă sunt de fapt două flanșe metalice subțiri, rigide, cu conductibilitate termică ridicată și au rolul de a intermedia transferul de căldură prin suprafața lor, împiedicând în același timp transferul de substanță în exterior.

Funcționare:

- La deplasarea displacer-ului în zona rece, aproape toată masa de aer trece în zona caldă destinându-se. Pistonul se va mișca înspre exterior.
- La deplasarea displacer-ului în zona caldă, aproape toată masa de aer, trece în zona rece contractându-se. Pistonul se va mișca înspre interior.

În funcție de tipul de gaz și de diferența de temperatură dintre cele două surse termice, procesul va avea o dinamică specifică fiecărei situații, iar din acest punct de vedere un maxim al eficienței acestui tip de motor se obține la găsirea unui optim al timpului de transfer termic și timpul de repetare al procesului mecanic de urcare sau coborâre al displacer-ului.

Funcționarea motorului pleacă în principal de la premiza că energia consumată de mișcarea displacer-ului este mai mică decât energia produsă de pistonul de lucru. Există o multitudine de soluții tehnice care au apărut în diferitele tipuri constructive. În majoritatea cazurilor pentru scăderea timpului de transfer termic și pentru obținerea unei frecvențe de repetiție mari se utilizează un dispozitiv de tip rețea de fire metalice, denumit regenerador, care se interpune în parcursul gazelor și are rolul de a grăbi transferul termic. Regeneradorul scade deci timpul de transfer termic și gazul se încălzește și se răcește mai repede dar în același timp interpune în calea mișcării gazului de lucru o forță disipativă de rezistență, fapt nedorit.

Un alt fapt nedorit este și acela că nu toată cantitatea de gaz de lucru se încălzește sau se răcește în același timp deoarece, din cauza inerției mecanice procesul termodinamic poate rămâne incomplet în momentul în care procesul mecanic comandă inversarea procesului termodinamic. Rămâne deci o cantitate de gaz care nu participă în sens constructiv la producerea lucrului mecanic.

1.2 Motoare cu aer cald existente, avantaje și dezavantaje, scurt istoric al invențiilor în domeniu.

Dintre motoarele cu aer cald, cele mai cunoscute sunt cele inventate de R. Stirling, cu îmbunătățiri ulterioare, pe care le vom descrie în cele ce urmează. Există cinci tipuri distincte de motoare Stirling pe care le vom aminti în continuare.

- Tipul Alfa-Stirling
- Tipul Beta-Stirling
- Tipul Gama-Stirling
- Motorul Stirling cu pistoane libere.
- Motoare Stirling cele cu piston lichid și cele cu diafragmă.
- Motoare cu aer cald statice

Avantajele motorului Stirling

- Pot funcționa cu căldură reziduală obținută ieftin deoarece sursele termice, se află în exteriorul mașinii termice și pot fi utilizate o gamă largă de astfel de surse .
- Pot funcționa cu mai multe surse termice și nu neapărat bazate pe procese de ardere. Sursele termice pot fi: energia solară, geotermală, biologică sau nucleară.
- Au părți mecanice și subsansamble mult mai simple decât motoarele cu ardere internă și sunt mult mai sigure
- Utilizează fluid de lucru fără schimbarea stării de agregare și pot fi realizate în varianta etanșă și presurizată, fiind ideale pentru submarine și aplicații aerospațiale unde nu necesită aer pentru ardere.
- Nefiind motoare cu explozie internă sunt foarte silențioase.
- Pot fi construite pentru o funcționare foarte silențioasă, fără alimentare cu aer, pentru propulsie fără consum de aer în cazul submarinelor sau în tehnica spațială.
- Sunt foarte flexibile și pot să funcționeze ca centrale cu cogenerare (CHP - Combined Heat and Power) - iarna și ca instalație frigorifică - vara. Procesul motor este reversibil.

Dezavantajele motorului Stirling

- Pentru obținerea eficienței energetice este nevoie de lucrul cu temperaturi ridicate, ceea ce implică folosirea unor materiale speciale cu costuri de fabricație mari.
- Sunt voluminoase datorită faptului că temperatura sursei reci trebuie menținută la temperatură cât mai scăzută pentru mărirea randamentului, iar aceasta necesită radiatoare mari.
- Au putere specifică mică datorită componentelor cu mase mari.
- Gazul de lucru optim fiind hidrogenul, datorită proprietăților termodinamice excelente. Vâscozitatea scăzută, conductivitatea termică ridicată și căldura specifică mare a hidrogenului fac ca din punct de vedere termodinamic și hidrodinamic, acesta să fie un

gaz de lucru aproape ideal în mașinile Stirling. Cu toate acestea datorită greutatei moleculare scăzute și a capacității ridicate de difuzie, hidrogenul va scăpa prin pereții de metal, ceea ce va îngreuna menținerea unei presiuni ridicate în interiorul mașinii. Ar fi ideal să putem folosi un material special, a cărui structură să nu fie deteriorată la lucru cu un asemenea gaz de lucru.

- Unele motoare Stirling nu pot porni imediat, având nevoie de o perioadă de pre-încălzire, lucru care le face greu folosibile în industria auto.
- Puterea debitată este constantă necesitând complicații tehnologice pentru a trece în alte regimuri ale puterii debitate (accelerarea motorului), în comparație cu motoarele cu ardere internă care se pot tura într-un interval foarte scurt.

Scurt istoric al invențiilor remarcabile, în domeniu [2].

- În anul 1807 George Cayley a experimentat prima mașină cu aer cald.
- În anul 1816 Rev. Robert Stirling inventa motorul care-l poartă numele.
- În anul 1853 James Robert Napier și William McQuorne Rankine inventau motorul Rankine cu suprafața de lucru extinsă.
- În anul 1905 Ossian Ringbom publică monografia sa cu privire la o nouă concepție a motorului Stirling și la reducerea complexității mecanismelor.
- În anul 1907 Ossian Ringbom brevetează noul tip de motor anunțat.
- În anul 1953 se inventează un nou tip de mecanism de acționare pentru motoare Stirling de tip rombic care permite un cuplu mai puternic al mecanismelor.
- În anul 1964 Beale inventează motorul sau cu pistoane libere.

- În anul 1974 Bradley propune probabil prima variantă de motor Stirling funcționând cu diferențe foarte mici de temperatură (de tip Gama).
- 1980-1983 Prima probă a motorului Kolin's Ltdse (Prima demonstrație a motorului Kolin's Ltdse).
- 1991 NASA lucrează la stații spațiale demonstrative de producere a energiei electrice prin metode ce folosesc motoare Stirling. Iar începând cu anul 2000 agenția spațială NASA își continuă lucrul în domeniul studierii acestor tipuri de propulsoare, la Glen Research Centre.

Observație:

Vom prezenta în cele ce urmează în detaliu conținutul și noutatea invenției lui O. Ringbom (1907), [3], deoarece ideea prezentei teze are ca punct de plecare, pe de o parte ideea pistoanelor libere a lui T. Beale, și în mod special funcționarea discontinuă a displacer-ului obținută de O. Ringbom, lucrarea de față dorindu-se a fi o îmbunătățire a acestora prin introducerea unor dispozitive mecanice originale care susțin procesele mecanice și termodinamice discontinue.

Acest tip de motor este caracterizat de opriri mecanice ale displacer-ului în funcționare, prin intermediul unor mici coliziuni mecanice la capetele cursei

Părțile componente principale sunt prezentate în figura următoare:

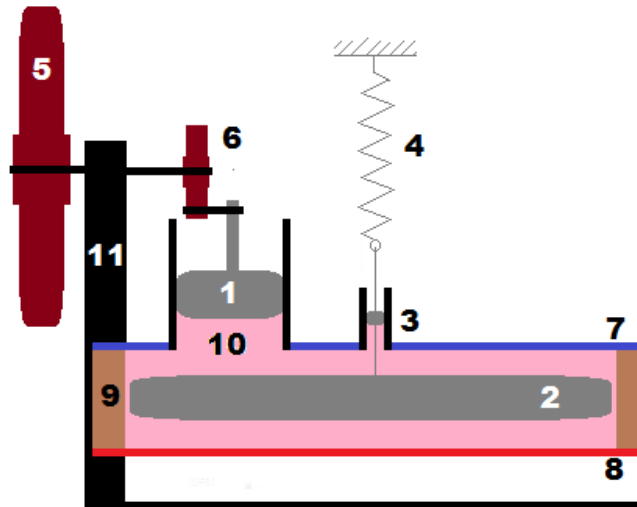


Figura 1.3 Motorul Ringbom Stirling

- 1) Pistonul de lucru mare, este etanș cu cilindrul, asigurând extragerea lucrului mecanic din motor, pe baza diferenței de presiune din interior față de exterior.
- 2) Displacer-ul, este un piston ne-etanș cu pereții compartimentului cu rolul de a muta periodic întreaga masă de gaz, între compartimentul superior și inferior al camerei motorului.
- 3) Pistonul de lucru mic, este de asemenea etanș cu pereții cilindrilor și are rolul de a extrage o mică cantitate de lucru mecanic, pe care îl va folosi pentru a propulsa displacer-ul independent de mișcarea pistonului principal.
- 4) Resort cu rol de stocare a energiei potențiale la capetele cursei, și preluarea forței gravitaționale.
- 5) Volant cu rol de înmagazinare a energiei în moment cinetic de rotație. Din acest volant se va extrage energia mecanică.
- 6) Arbore cotit, are rolul de a schimba direcția ansamblului piston-bielă la inversarea sensului forței presiunii.
- 7) Flanșa metalică rece de tip disc, cu coeficient de transfer termic mare. Prin această suprafață motorul cedează căldură spre exterior și reprezintă sursa rece a motorului.
- 8) Flanșa metalică caldă de tip disc. Prin această suprafață motorul primește căldură din exterior și reprezintă sursa caldă a motorului.
- 9) Perete adiabat al motorului cu rol de compartiment etanș al motorului.
- 10) Gazul de lucru. Uzual se folosește aerul atmosferic, dar pentru eficiența ridicată și puterea specifică mare, se folosesc gaze precum hidrogenul sau heliul sau argonul.
- 11) Suport rigid cu rol de fixare a mecanismelor.

Funcționare:

Acest tip de motor Stirling funcționează aproape similar cu un motor de tip gama Stirling singura deosebire fiind lipsa conexiunii mecanice între piston și displacer, mișcarea displacer-ului fiind asigurată de un al doilea piston care este propulsat de către gazul de lucru. Deoarece pistonul de lucru și displacer-ul nu depind unul de celălalt din punct de vedere mecanic, se poate face o optimizare a procesului termodinamic ca și timp de completare a procesului termodinamic, astfel încât pistonul de lucru va avea o mișcare oscilantă continuă, de tip sinusoidal pe când displacer-ul se va mișca discontinuu (va comuta dintr-o parte în alta) atât

timp cât presiunea va crește peste o anumită limită sau va scăde sub o anumită limită. Între cele două limite de presiune displacer-ul va rămâne blocat inferior sau superior. Datorită opririi displacer-ului întregul proces termodinamic va fi influențat în sensul creșterii randamentului. Întregul proces termodinamic a fost explicat și brevetat de către Ringbom și a fost tratat pe larg în diferite lucrări de specialitate.

1.3 Concluzii.

Având în vedere cele descrise în acest prim capitol introductiv, putem spune că aceste motoare de tip mașina termică cu aer cald sunt promițătoare pentru a fi utilizate în diverse aplicații cotidiene și industriale. Câteva idei sintetizate sunt următoarele:

- Astfel, pentru faptul că pot funcționa cu căldură reziduală, chiar și la gradienti mici de temperatură, le promovează să fie utilizate în surse auxiliare, utilizabile în cogenerare energetică.
- Pentru faptul că sursele termice se află în afara motorului, face posibilă utilizarea acestora în transformarea energiei solare, o problemă deschisă fiind randamentul de conversie, care este în continuă îmbunătățire – ca rezultat al cercetărilor științifice recente.
- Spre deosebire de motoarele termice cu ardere internă și explozie controlată, care poluează fonic și chimic mediul înconjurător, motoarele cu aer cald permit o funcționare liniștită, fără perturbare sonoră, datorită faptului că majoritatea motoarelor cu aer cald lucrează cu gaz în regim închis, față de mediul înconjurător, sunt nepoluante chimic, iar în cazul funcționării cu energie solară, sunt perfect „prietenose” mediului.
- Se pot face încă multe îmbunătățiri privind creșterea eficienței la conversia energetică, iar acest lucru se poate face, mergând pe mai multe direcții, printre care amintim: (creșterea deferenței de temperatură dintre sursele calde și rece, lucru cu gaz pre-presurizat, posibilitatea de a lucra cu alte gaze decât aerul. etc.)
- Plecându-se de la simple invenții făcute uneori în laboratoare cu dotare tehnică precară, remarcăm că s-au făcut pași mari în dezvoltarea acestor motoare, în special dezvoltarea fiind concertată de către corporații de nivel național și internațional (motorul Stirling dezvoltat de către compania Philips, motorul Stirling dezvoltat de către NASA, etc.), totuși încă nu s-au epuizat toate pârghiile posibile pentru creșterea fiabilității și randamentului unor astfel de motoare.
- Însăși lucrarea de față se dorește să fie doar o nișă de dezvoltare, pe care se pot construi noi modele constructiv-funcționale ale unor astfel de mașini termice, nișă care se dorește să fie făcută în sensul controlului distribuirii în mod discontinuu în timp, a fenomenelor semnificative ce au loc în mașina termică.
- Din punct de vedere științific, o mare problemă a tehnicienilor și a termotehniștilor a fost implementarea practică a principiilor și formulelor riguroase ale matematicii și fizicii, iar în acest sens în ultima perioadă, au fost dezvoltate noi modele ale transferului termic, pe suprafețe inovative, au fost modelate în cazuri reale procese imposibil de studiat în cazuri teoretice, iar tehnica de calcul ce deservește aceste deziderate, a fost de asemenea în plin avânt inovativ.

CAPITOLUL 2.

MOTOR EXPERIMENTAL, CU AER CALD, DE CONCEPȚIE ORIGINALĂ, FUNCȚIONÂND CU OPRIRI CONTROLATE.

2.1 Varianta propusă “Motor cu opriri controlate”, descrierea dispozitivului experimental și principii de funcționare.

Plecăm în studiul nostru de la simplu la complex, de la prototipul unui motor termic sub forma de oscilator linear, care funcționează pe principiul oscilatorului liniar armonic, cu oscilații auto întreținute, care convertește lucrul mecanic al presiunii gazelor în energie mecanică.

Schimbul de căldură la interfață dintre un perete metalic și un gaz de lucru care se dilată și se contractă periodic, reprezintă fenomenul termodinamic principal care propulsează întregul ansamblu mecanic, în toate modelele de motoare termice următoare.

a.

Sistem motor termic cu aer cald pe principiul oscilatorului simplu, cu oscilații întreținute.

În prima fază am încercat crearea unui model mecanic rigid și simplu, fiindcă intenționăm să producem sau să modificăm defazajul spatio-temporal al presiunii față de creșterea volumului gazului de lucru, pe calea unei funcționări discontinue, am plecat de la un sistem mecanic rigid între pistonul de lucru și displacer, deși în majoritatea cazurilor întâlnite la motoarele cu aer cald există defazaj mecanic temporal permanent, între cele două componente funcționale, pistonul și displacer-ul.

În figura alăturată se poate vedea un ansamblu mecanic în configurația unui motor monopiston, care produce oscilații liniare neamortizate pe baza energiei mecanice pe care o extrage periodic din energia produsă de dilatarea și contractia periodică a unei cantități de gaz aflată în proces de încălzire sau răcire.

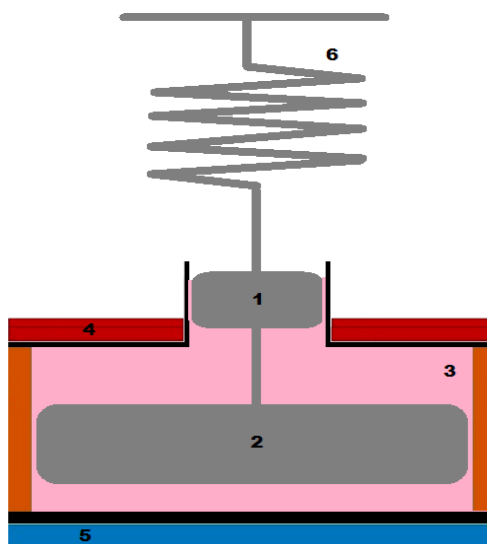


Figura 2.1 Sistem simplu oscilator termodinamic care produce oscilații auto întreținute.

Descriere:

- 1) Piston de lucru, etanș cu pereții cilindrului;
- 2) Displacer-ul, fixat rigid de pistonul de lucru, are rolul de a deplasa întreaga masă de gaz din interiorul ansamblului.(Displacer-ul nu este etanș cu pereții cilindrului, ci permite gazului să treacă prin părțile lui periferice).
- 3) Gazul de lucru, în mod uzual se folosește aerul atmosferic;
- 4) Sursa caldă – este de fapt un disc metalic încălzit de o sursă exterioară , temperatura uzuală în timpul experimentului a fost ținută constantă la circa 60 C;
- 5) Sursa rece-este de fapt un disc din aluminiu, a cărei temperatură a fost ținută constantă în timpul experimentului la valoarea de 20 C;
- 6) Resort cu o constanta elastică mică și un factor de calitate mare, care să permită obținerea unor oscilații armonice.

Funcționare:

Motorul pornește cu impuls inițial și funcționează datorită inerției mecanice și a transformării periodice ale energiei cinetice în energie potențială ce se stochează periodic în resort.

Toate pierderile datorate frecărilor mecanice și cu aerul sunt suplinite de forța presiunii datorată dilatarea și contracția periodică a gazului de lucru.

Fenomenele termodinamice complexe vor fi descrise pe larg în capitolele următoare iar un grafic al parametrilor principali în funcție de timp, al funcționării experimentale ale acestui motor, sunt prezentați în figura următoare.

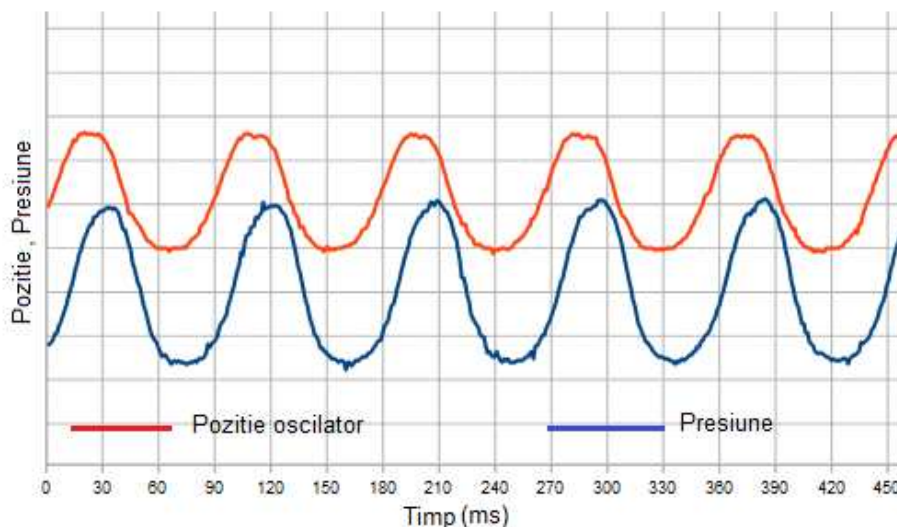


Figura 2.2 Grafic al legii de mișcare obținută experimental al ansamblului piston displacer și variația presiunii.

În figura de mai sus, se pot vedea formele de undă ale oscilațiilor poziției ansamblului piston-displacer și ale presiunii interne ale gazului.

Ele nu sunt perfect sinusoidale, dar tind să fie deoarece procesul se desfășoară în mod natural, sistemul fiind format dintr-un oscilator armonic ce produce oscilații amortizate, dar dilatarea și contracția periodică a gazului produce lucru mecanic, ce acționează asupra pistonului, astfel suplindu-se pierderile.

Ca un neajuns al acestui model amintim faptul că dilatarea și contracția gazului nu se face complet, deoarece ansamblul resort corp greu, are o frecvență proprie de rezonanță și procesul termodinamic de transfer termic are nevoie să aibă un timp optim, de aceea aici este necesar că din configurația caracteristicilor experimentale, frecvența proprie a oscilatorului să fie cât mai apropiată de timpul procesului termodinamic.

b.
Sistem motor termic cu aer cald pe principiul dublului oscilator, cu oscilații întreținute.

În figura 2.3 se poate vedea un ansamblu mecanic în configurația unui motor, mono-piston și mono-displacer, pe principiul dublului oscilator cu cuplaj mecanic care produce oscilații armonice lineare, întreținute.

Forța care suplinește pierderile se datorează mișcării mecanice pe care o extrage periodic din energia produsă de dilatarea și contracția periodică a unei cantități de gaz aflată în proces de încălzire sau răcire.

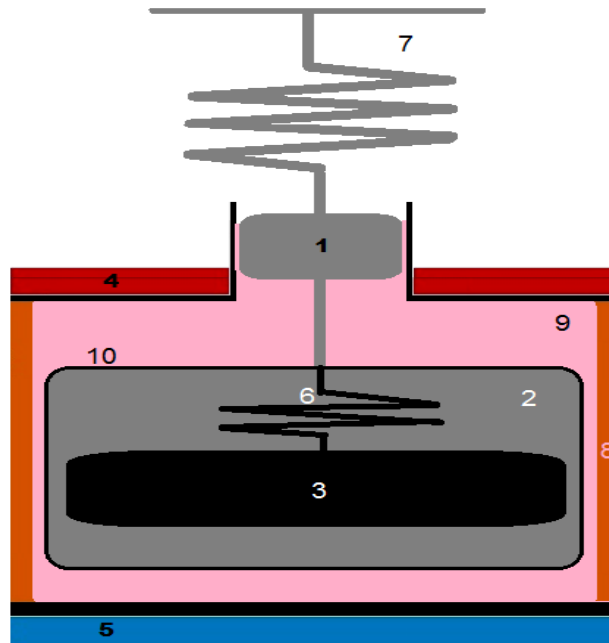


Figura 2.3 Sistem dublu oscilator termodinamic care produce oscilații auto-întreținute

Descriere:

- 1) Piston de lucru, etanș cu pereții cilindrului, funcționând cu pelicula de ulei pentru eliminarea pierderilor de presiune;
- 2) Displacer, fixat rigid de pistonul de lucru, cu ajutorul unei tije, are rolul de a deplasa întreaga masă de gaz din interiorul ansamblului. (Displacer-ul nu este etanș cu pereții cilindrului, ci permite gazului să treacă prin partea periferică);
- 3) Oscilator secundar cu rolul de a înmagazina suplimentar energie mecanică.
- 4) Sursa caldă, este de fapt un disc de aluminiu încălzit de o sursă exterioară, temperatura uzuală în timpul experimentului a fost ținută constantă la 57°C ;
- 5) Sursa rece, este de fapt un disc din aluminiu, a cărei temperatură a fost ținută constantă în timpul experimentului la valoarea de 27°C .

- 6) Resort secundar, care împreună cu corpul secundar formează un oscilator.
- 7) Resort cu o constantă elastică mică și un factor de calitate mare, care să permită obținerea unor oscilații armonice.
- 8) Perete adiabatic, de izolare termică cu exteriorul.
- 9) Gaz de lucru, cu parametri termici perfecționați.
- 10) Carcasa displacer-ului.

În figura 2.4, se pot observa concomitent forma legilor de mișcare ale oscilatorului dublu, după trecerea perioadei tranzitorii și așa cum era prevăzut pe cale teoretică, oscilațiile sunt în fază având amplitudini diferite.

Energia mecanică totală a întregului ansamblu, frecvența proprie a ansamblului cât și legile de mișcare se pot obține pe cale teoretică prin rezolvarea unui sistem de ecuații diferențiale și sunt descrise în literatura de specialitate.

S-a introdus acest al 2-lea oscilator cuplat mecanic cu rolul de a modifica dinamica primului și pentru a se obține prin reglaj o concordanță între perioada de oscilație proprie și a timpului optim impus de procesul termodinamic. Graficul obținut pe cale experimentală, este:

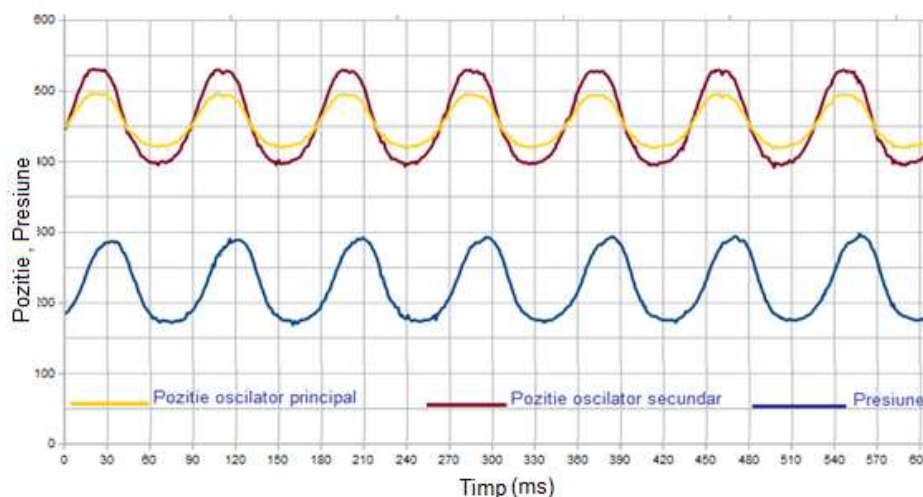


Figura 2.4 Graficul cumulat al celor trei parametri semnificativi în timp.

C.

Sistem motor termic cu aer cald pe principiul dublului oscilator, cu opriri controlate.

La această parte a dezvoltării problemei studiate, am introdus în câmpul linear și elastic al resortului principal un cuplu de forțe magnetice puternic dependente de poziție care acționează preponderent la capetele cursei modificând în mod substanțial câmpul energetic potențial al energiei mecanice.

Problema oscilatorului dublu, care produce opriri controlate, cu ajutorul cărora funcția de transfer termic de la peretele metalic la gazul de lucru va fi puternic influențată în sensul creșterii indicelui de transfer termic și în sensul creșterii eficienței energetice, va fi studiat teoretic în capitolele următoare, aici prezentăm doar o schiță explicativă a modelului experimental.

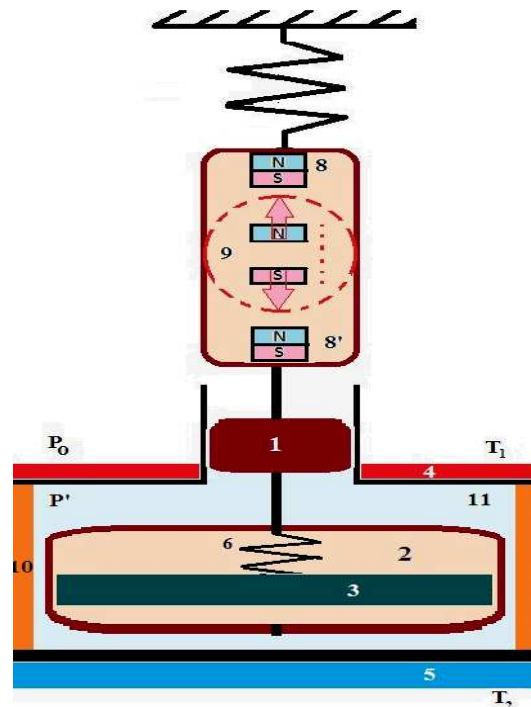


Figura 2.5 Schița motorului cu aer cald, cu opriri funcționale.

Descriere:

- 1) Piston de lucru, etanș cu pereții cilindricului, funcționând cu peliculă de ulei pentru eliminarea pierderilor de presiune;
- 2) Displacer, fixat rigid de pistonul de lucru, cu ajutorul unei tije, are rolul de a deplasa întreaga masă de gaz din interiorul ansamblului. (displacer-ul nu este etanș cu pereții cilindricului, ci permite gazului să treacă prin partea periferică);
- 3) Un al 2-lea sistem oscilant corp greu fixat rigid în interiorul displacer-ului cu scopul de a modifica dinamica acestuia și cu scopul de a modifica frecvența proprie a primului ansamblu;
- 4) Sursa caldă, este de fapt un disc de aluminiu încălzit de o sursă exterioară, temperatura uzuală în timpul experimentului a fost ținută constantă la 57°C ;
- 5) Sursa rece, este de fapt un disc din aluminiu, a cărui temperatură a fost ținută constantă în timpul experimentului la valoarea de 27°C ;
- 6) Resortul celui de al doilea oscilator.
- 7) Resort cu o constantă elastică mică și un factor de calitate mare, care să permită obținerea unor oscilații armonice;
- 8) Set de magneți mobili, legați solidar cu partea oscilatoare, care are rolul de a produce forțe neliniare cu distanță.
- 9) Magneți reglabili fiși față de cadrul stabil al motorului, cu rolul de a transmite reacțiunea magneților mobili.
- 10) Perete izolant din PVC care împiedică conducția termică și schimbul de substanță;
- 11) Gaz de lucru în cazul de față a fost folosit aerul atmosferic, dar este necesar să fie înlocuit cu hidrogen sau heliu pentru ca acestea să aibă proprietăți termice mai bune;

Adițional la acest model a fost introdus un dispozitiv de stimulare magnetic. Stimularea constă într-o interacțiune în câmp magnetic la capetele cursei, care are ca efect obținerea unor efecte mecanico-fizice noi, prin transfer controlat de impuls mecanic între primul și al doilea sistem oscilant și astfel printr-un reglaj optim, putându-se modifica legea de mișcare a primului sistem oscilant, producându-se opriri controlate la capetele cursei, iar dispozitivul 9 are rolul de a stimula prin reglarea intensității câmpului nelinier la capetele cursei. Autorul a încercat stimularea magnetică, pentru obținerea efectului mai sus amintit, în mai multe moduri pe cale experimentală, obținându-se multe efecte interesante, nu toate concludente pentru studiul prezentat în această lucrare. Aici vom prezenta doar acele interacțiuni care au condus la obținerea opririlor controlate.

Subiectul interacțiunii unui oscilator mecanic de tip masa-resort, sau lamă elastică cu proprietăți magnetice în câmp magnetic este un subiect foarte discutat și în egală măsură studiat, cu atât mai mult cu cât mijloacele experimentale sunt simple și la îndemna experimentatorului, chiar amator. În descifrarea tainelor interacțiunilor magneto-elastice a unui oscilator mecanic, autorul a ținut cont și de lucrări din același domeniu, din care amintim: [4] și [5].

Timpul de oprire va fi influențat de constantele fizice ale sistemului, și în acest caz se impune un studiu teoretic al obținerii unei combinații optime între timpul optim, perioada proprie de oscilație a ansamblurilor rezonante și timpul optim de transfer termic al căldurii.

În partea aplicativă a lucrării se va ține cont că accelerarea procesului de repetiție a oscilațiilor pe ansamblu trebuie "oprită" de extragerea energiei suplimentare sub forma de curent electric.

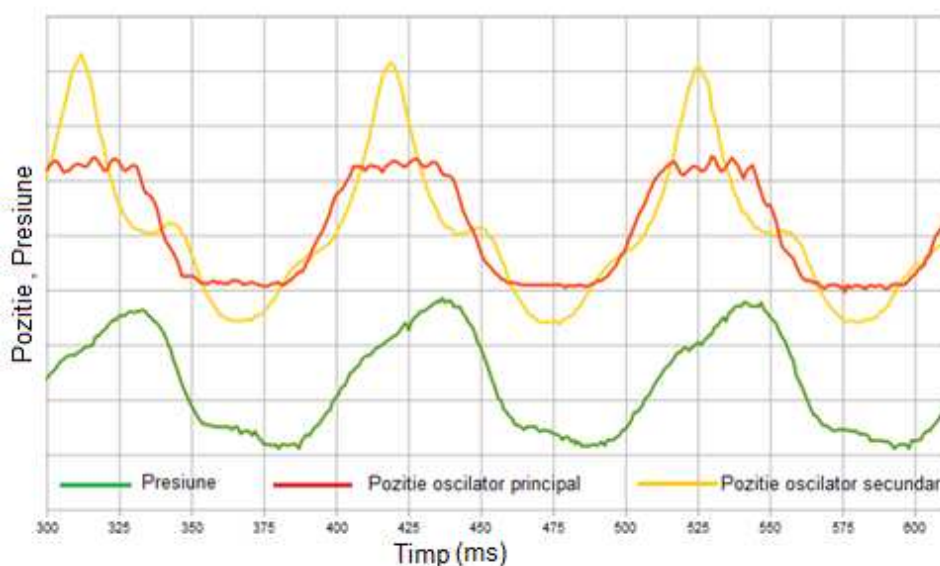


Figura 2.6 Variația parametrilor semnificativi ai motorului cu opriri controlate în timp.

Opririle sistemului piston - displacer, au ca efect o creștere suplimentară a presiunii interne ca urmare a completării procesului de transfer termic și produc o viitoare deplasare cu viteză mărită, deci producându-se accelerarea procesului.

Extragerea energiei suplimentare sub forma de lucru mecanic, care va fi punctul aplicativ al întregului studiu, va fi descrisă în capitolul 5.

O schiță a uneia din instalațiile experimentale, în două ipostaze, este prezentată în continuare:

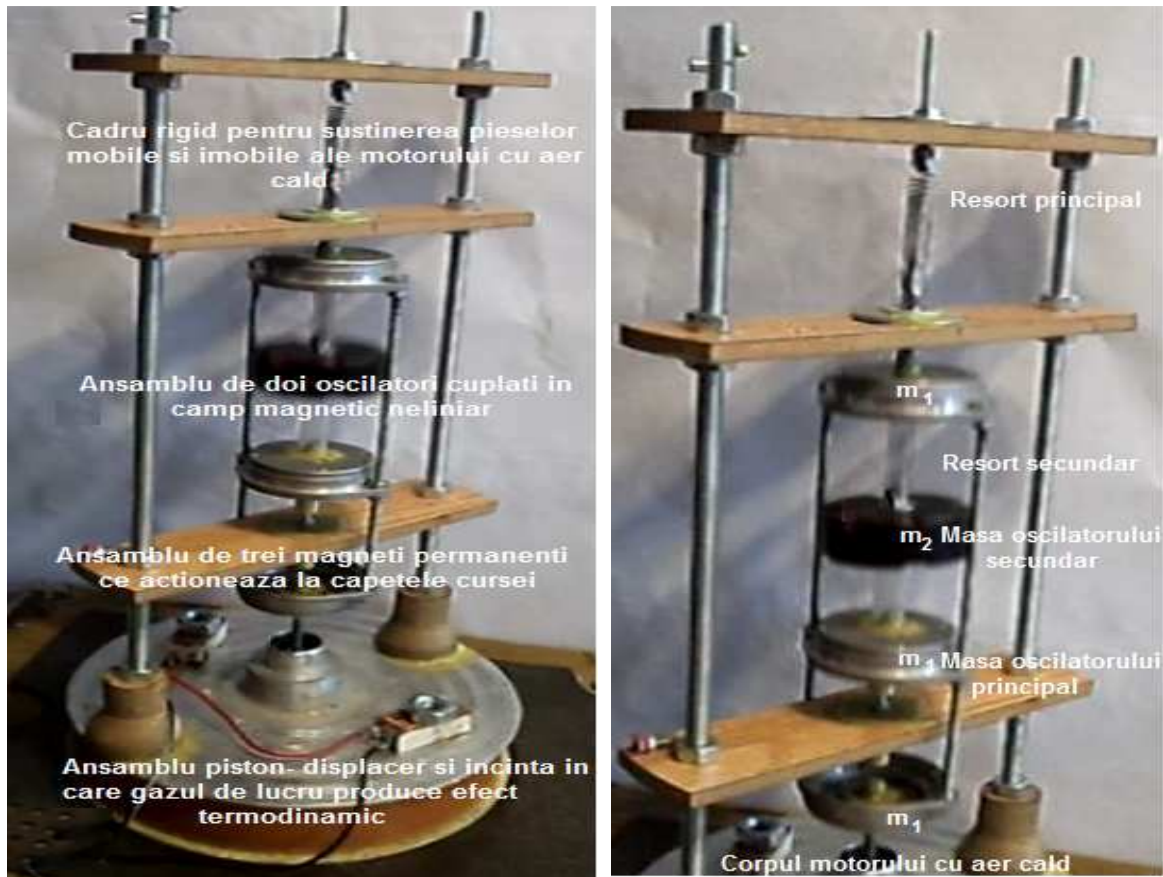


Figura 2.7 a, b. Realizarea practică a motorului cu opriri controlate, varianta 1.

Rezultatele experimentale, care au condus la elaborarea acestui studiu sunt structurate în forma următoare:

- Rezultatul cuplului de forțe magnetice ce acționează pe distanțe mici și al forțelor elastice, vor produce o oprire controlată, prin transfer de impuls către al 2-lea sistem oscilant care va efectua o oscilație suplimentară.
- Efectul se produce fără ciocnire sau contact mecanic și va fi explicat din punct de vedere teoretic și experimental, ecuațiile diferențiale ale mișcării se vor integra analitic dar se vor face și simulări numerice.
- Se pot obține opriri ale unuia dintre corpuri, ceea ce reprezintă o abatere de la forma mișcării permanente oscilatorii, și așa cum se va demonstra, acestea vor fi oscilații eliptice, subiect ce va fi tratat în subcapitolul 4.2;
- Acest rezultat obținut prin transferul controlat de impuls mecanic între cei doi oscilatori, va fi folosit în îmbunătățirea transferului de energie termică la interfața dintre sursele termice și gazul de lucru.

- În cadrul procesului complex de transfer termic, intervalele de timp în care se face transferul termic au influență asupra cantității de căldură ce se transferă și va fi studiat în cadrul lucrării de față, dar și în cercetări științifice ulterioare.

Varianta de motor 2, presurizată, compactă și îmbunătățită din punct de vedere mecanic

În continuare vom prezenta o variantă îmbunătățită din punct de vedere mecanic, a motorului cu aer cald ce a fost prezentat schematic în figura de mai sus, și care va fi prezentată ca parte experimentală și demonstrativă a lucrării de față.

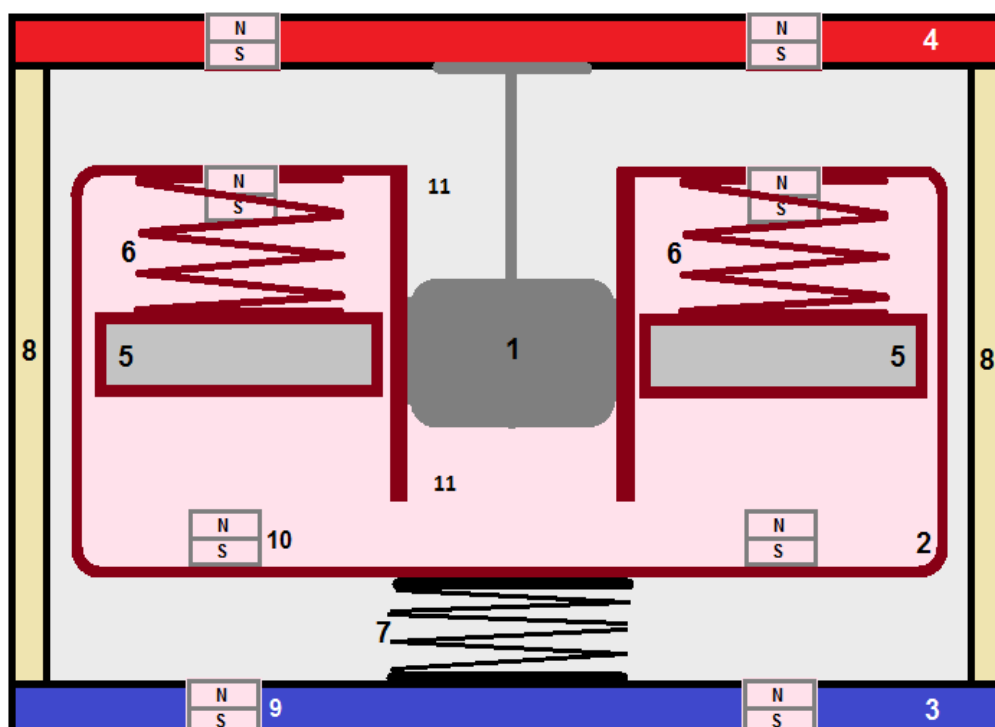


Figura 2.8 Motor complex cu aer cald cu opriri funcționale, cu camera de presiune interioară, funcționând la presiuni ridicate.

A fost concepută o nouă formă, de tip disc încapsulat, mai avantajoasă din punct de vedere mecanic astfel încât tot ansamblul se poate izola de exterior, putând lucra deci în mod presurizat și compact.

Pistonul a fost conceput ca parte fixă, iar ansamblul: cilindru, displacer și oscilatorul secund au devenit mobile, piesele mecanice ale acestui tip de motor sunt dispuse ca în figura de mai sus.

Descrierea dispozitivului experimental și principiul de funcționare:

- 1) Piston de lucru, care de aceasta dată va fi imobil, dar etanș cu pereții cilindrului mobil, funcționând cu peliculă de ulei pentru eliminarea pierderilor de presiune;
- 2) Displacer mobil fixat rigid de cilindru care are rolul de a se deplasa sub influența forței presiunii împreună cu întreaga masă de gaz din interiorul ansamblului. (Displacer-ul nu este etanș cu pereții cilindrului, ci permite gazului să treacă prin partea periferică);

- 3) Sursa rece, este de fapt un disc din aluminiu, a cărui temperatură a fost ținută constantă în timpul experimentului la valoarea de 27 °C;
- 4) Sursa caldă, este de fapt un disc de aluminiu încălzit de o sursă exterioară, temperatura uzuală în timpul experimentului a fost ținută constantă la 57 °C;
- 5) Un al 2-lea sistem oscilant corp greu fixat rigid în interiorul displacer-ului și al cilindrului mobil, cu scopul de a modifica dinamica acestuia și cu scopul de a modifica frecvența proprie a primului ansamblu;
- 6) Resortul oscilatorului 2.
- 7) Resort cu o constantă elastică mică și un factor de calitate mare, care să permită obținerea unor oscilații armonice;
- 8) Perete izolant din PVC, care împiedică conducția termică;
- 9) Magneți reglabili fiși, cu rolul de a transmite reacțiunea magneților mobili.
- 10) Set de magneți mobili, legați solidar cu partea oscilatoare, care are rolul de a produce forțe neliniare cu distanță.
- 11) Gaz de lucru în cazul de față a fost folosit aerul atmosferic, dar este necesar să fie înlocuit cu hidrogen sau heliu pentru că acestea au proprietăți termice mai bune;

În cadrul funcționării în modul compact, se poate lucra la presiuni mai înalte decât cea atmosferică și în condiții tehnologice comparabile cu modelele industriale actuale ale motoarelor cu aer cald, putându-se obține puteri specifice și fiabilitate ridicată a acestui model.

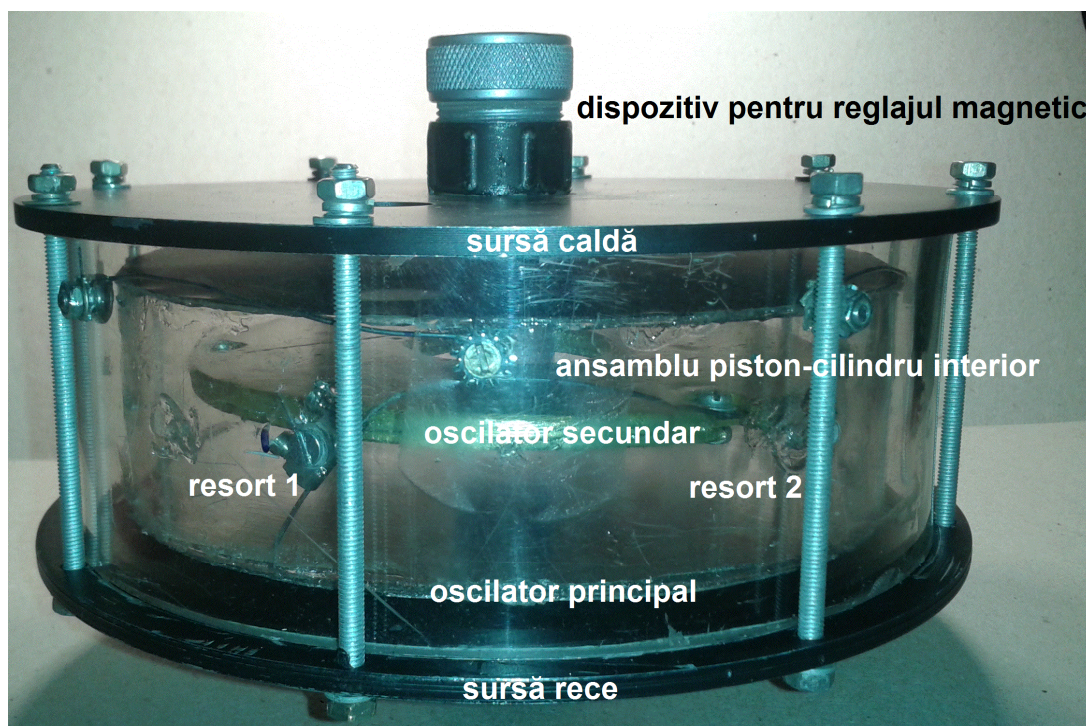


Figura 2.9 Realizarea practică a motorului cu aer cald cu opriri controlate, varianta 2.

2.2 Concluzii ale alegerii și realizării motorului experimental bazat pe principii inovative.

În cele ce urmează vom prezenta ideile de bază ce au condus la alegerea prototipului ce ne permite să efectuăm transfer termic îmbunătățit, prin oprirea temporară și periodică a oscilatorului principal într-un motor termic cu aer cald:

- Este știut faptul că întregul proces ce se desfășoară într-un motor cu aer cald tip Stirling, este guvernat de mișcarea sub influența inerției mecanice liniare, în cazul oscilatorilor liniari cu mișcare continuă, sau al momentului cinetic de rotație în cazul ansamblului piston - biela-volant. Din acest motiv, la motoarele clasice cu funcționare continuă, acolo unde se impune, din punct de vedere ingineresc se intervine în modificarea timpilor de declanșare ai proceselor, de exemplu prin reglarea exactă a avansului la aprindere prin metode dinamice.
- În acest sens ideile expuse în acest capitol, care vor fi pe deplin dezvoltate în capitolele următoare, prezintă câteva ansambluri mecanice, în care se pot obține opriri controlate, cu conservarea energiei mecanice.
- În situația de față se încearcă modificarea legii de mișcare a ansamblului piston - oscilator principal, astfel încât aceasta se va desfășura în mod discontinuu în timp, fără pierderi energetice de tip ciocnire sau frânare, fapt care contravine mișcărilor naturale, dar este posibil prin transferul controlat de impuls între doi oscilatori mecanici, cu posibilitatea de revenire la situația dinamică anterioară, prin transferul impulsului mecanic în sens invers.
- Cele descrise mai sus, vor fi tratate în continuarea lucrării, din punct de vedere mecanic și termodinamic, aici în capitolul de mai sus, făcându-se doar o descriere a principiilor și raționamentelor logice ce au condus la obținerea efectului.
- S-a pus accent în capitolul de mai sus pe necesitatea utilizării mișcărilor discontinue dar și pe necesitatea utilizării unui timp de repetiție al oscilațiilor în perfect acord cu procesele termodinamice.
- În decursul cercetării autorii au avut mai multe încercări în a obține opriri controlate în oscilatori mecanici liniari, printre care amintim ca: am încercat în prima fază să stimulam oscilatorul principal, cu un câmp magnetic controlat de către un semnal provenit de la o placă de comandă, controlată de un microcontroler, sau s-a încercat obținerea opririlor la capetele cursei cu magneți permanenți orientați (NS-SN), pe respingere, caz în care totuși nu s-a putut obține oprirea, ci doar o respingere mai puternică.
- În comparație cu soluția aplicabilă, pentru cazul funcționării continue a unui motor termic de tip Otto, cu privire la adaptarea optimă, respectiv comanda aprinderii în avans a amestecului carburant, fapt ce doar ameliorează alura verticală a transformării izocore, soluția propusă aici, respectiv folosirea opririlor controlate, aplicată pieselor mobile ale unui motor cu aer cald, reprezintă o soluție ingenioasă și perfectabilă, dar și o metodă mai bună de a obține transformări termodinamice, apropiate de cele ideale, corespunzătoare tipului de motor discutat.

CAPITOLUL 3.

CAPITOLUL 3. PRELUCRAREA ȘI ANALIZA DATELOR EXPERIMENTALE.

3.1 Dispozitive de măsurare a principalilor parametri de funcționare, metode utilizate și metode privind achiziția în calculator, a datelor experimentale.

Metode de investigare experimentale folosite.

Întrucât avem de-a face cu un motor cu aer cald aflat în stadiu de cercetare și dezvoltare prealabilă, cei mai importanți parametri mecanici și termodinamici au fost măsurați și înregistrați în timpul diferitelor regimuri de funcționare, pentru a fi prelucrați și analizați.

Parametrii ce au fost înregistrați sunt:

- Pozițiile tuturor oscilatorilor mecanici ca funcții de timp, urmărindu-se prelucrarea ulterioară acestei informații pentru găsirea vitezei și accelerației mișcării.
- Tot din variațiile pozițiilor se pot determina variațiile volumelor pentru sistemul piston-cilindru, fiind vorba despre sisteme în care suprafețele pistoanelor sunt invariabile, se înregistrează numai variația înălțimii pentru determinarea variației volumului.
- Presiunile gazului de lucru în diferite puncte ale motorului. Presiunea atmosferică se va măsura de asemeni pentru a fi folosită ca etalon.
- Temperaturile surselor rece și caldă se vor măsura în zona metalică a schimbătorului de căldură, dar și distribuții ale temperaturi gazului de lucru vor fi măsurate în zonele cele mai reprezentative.

În figura următoare se va prezenta schematic, zonele unde au fost plasați senzorii care vor înregistra parametrii indicați:

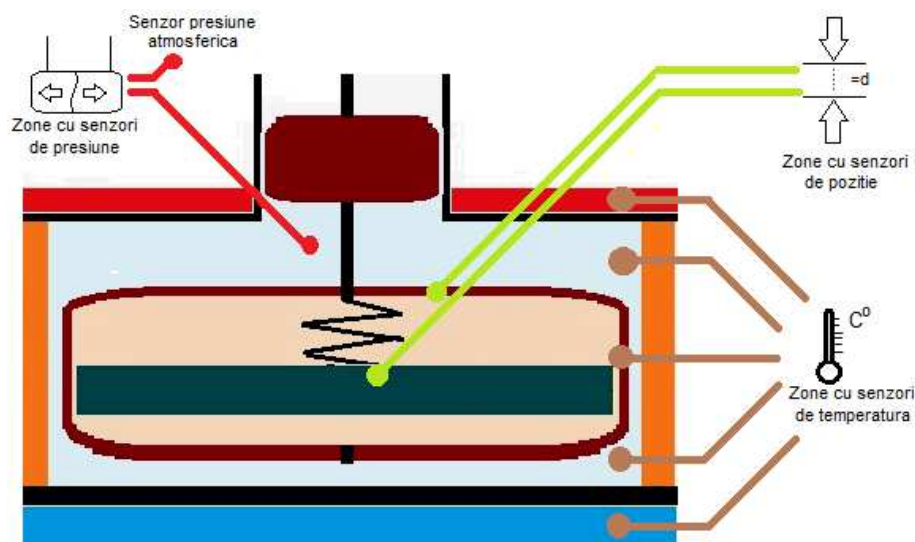


Figura 3.1 Poziționarea senzorilor aferenți măsurătorilor dinamice și statice

Placa de achiziție a datelor experimentale. Soluție constructivă:

Achiziția de date în calculator are la bază o placă electronică de achiziție, elaborată în variantă proprie de către autor, ea fiind executată cu un microcontroler de proces de 8 biți, și are următoarea structură funcțională:

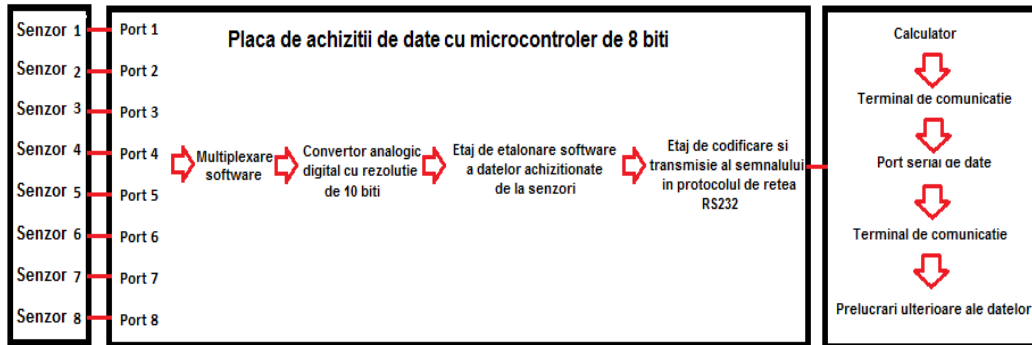


Figura 3.2 Placa de achiziție a datelor. Schița logică.

Placa de achiziție a fost concepută să citească simultan, cu ajutorul tehnicii multiplexării în timp, a celor 8 senzori și să trimită simultan blocul de date către portul serial al calculatorului.

Etajele componente ale acestei plăci sunt următoarele:

- Porturi de intrare al datelor de la senzori.
- Un bloc funcțional de multiplexare construit hardware ce este comandat software, care citește, cu rată de înprospătare suficient de mare informațiile prezente în porturi.
- Convertorul Analogic Digital având rezoluție de 10 biți, care funcționează pe principiul comparațiilor succesive, ce are rolul de a transforma semnalul analogic în semnal binar, cu capacitate de memorare ulterioară în vederea analizei matematice.
- Un etaj de etalonare software inclus acestei plăci, care pe baza compozițiilor de funcții matematice va face o corecție a formei datelor achiziționate.
- Etajul de codificare al datelor, în vederea transmisiilor seriale către calculator, în formatul ales în această aplicație, respectă protocolul de comunicație RS232.
- Dincolo de placa de achiziție a datelor, este necesară prezența unui terminal de comunicație, capabil să decodifice informațiile seriale și să le transforme în câmpuri binare de 10 biți rezoluție.
- Datele astfel transformate, vor fi convertite software sub limbajul de operare al calculatorului în șiruri de date zecimale cu ajutorul cărora se pot construi grafice sau se pot face analize matematice.
- Descrierea modului cum se pot face astfel de analize asupra câmpurilor de date obținute va fi descrisă în capitolul următor.

Modul de proiectare al plăcii s-a făcut în mod special ținându-se cont de nevoile reale de măsurare, ale parametrilor de funcționare ai motorului cu aer cald, ținându-se cont de parametri de proiectare, din literatura de specialitate în domeniu, printre care amintim lucrarea [6].

Prezentarea părții practice a plăcii de achiziție a datelor. Detalii constructive.

Placa de achiziție de date este un montaj electronic, capabil să citească în timp real și simultan, parametri fizici ai unui proces și aceasta placă de achiziție de date a fost construită în variantă proprie și bazată pe utilizarea unui microcontroler de 8 biți, dezvoltat de către firma Microcip, și anume Pic 16 F 887.

Construcția plăcii a fost făcută cu 8 canale de tensiune independente, nivel de rezoluție pe fiecare canal este cel maxim admis de microcontroler de 10 biți -1024 stări individuale.

La conversie contribuie faptul ca microcontrolerul are în componența sa un convertor analogic-numeric, care poate fi asignat la oricare din cele 14 intrări analogice cu ajutorul unui software, din care doar 8 au fost asignate software, celelalte fiind dezactivate.

În cazul nostru, am împărțit domeniul de măsurare în tensiune în plaja de tensiune maximă, adică de 5 volți ($V_{DD}-V_{SS}$) în 1024 de stări distincte, pe care după fiecare eșantionare microcontrolerul le depune în doi regiștri interni ce urmează a fi preluați software.

S-a folosit timerul intern al microcontrolerului care a fost setat software, la o citire în timpul de 60 de milisecunde, cât și etalonarea în tensiune data de etaloanele interne fixe și anume pragurile minim și maxim ale tensiunii de alimentare ($V_{SS}=0$ și $V_{DD}=5V$). În proiectarea plăcii de achiziții de date, s-au folosit date din fișa de catalog a producătorului microcontrolerului, [7].

Placa de achiziții de date trimite rezultatul conversiei analogic numeric, prin intermediul portului serial cablat, care s-a realizat în protocol RS-232 cu ajutorul circuitului specializat MAX 232.

Datele au fost recepționate cu ajutorul unui program de tip "Terminal de comunicație" și au fost stocate și prelucrate cu ajutorul unui calculator de tip PC sub sistemul de operare Windows.

Schema bloc este evidențiată în continuare:

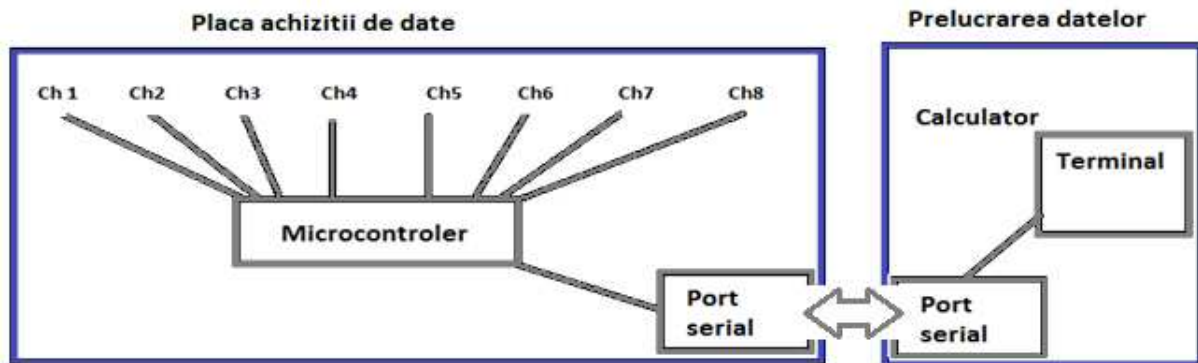


Figura 3.3 Configurația hardware-ului plăcii de date.

3.2 Rezultate experimentale, obținute în urma măsurărilor, care dovedesc modul de funcționare modificat din punct de vedere mecanic și termodinamic.

Ideea centrală a lucrării este optimizarea eficienței transferului energetic cu ajutorul modelării funcționării, iar în acest punct al descrierii noastre putem spune că, la motorul cu aer cald, gen Stirling, care are ciclul termodinamic ideal format din două izocore și două izoterme, forma ideală a transformărilor termodinamice, nu se poate obține în realitate, deoarece pistoanele sunt în continuă mișcare de comprimare sau expansiune, lucru ce împiedică apariția peretelui izocor. Noțiuni în legătura cu mișcarea continuă rotativă a motoarelor Stirling, și a transformărilor termodinamice asociate, acestor motoare sunt întâlnite în multe lucrări de specialitate, precum lucrarea [8]. Modelul de motor propus de autori prevede o creștere a randamentului funcționării motorului tocmai prin aceea că se obține un ciclu termodinamic cu perete aproape izocor, datorat opririi în timpul funcționării a pistonului principal. În cele ce urmează vom prezenta o serie de rezultate experimentale ce dovedesc faptul că mărimile dinamice specifice mișcării mecanice, cum ar fi viteza și accelerația momentană ce caracterizează mișcarea oscilatorului dublu, descrise în lucrări de specialitate ca: [9], se transformă în consecință, ca în cazul de față, în acord cu prima și a doua derivată numerică a mișcării, iar acest lucru va fi scos în evidență, pentru fundamentarea explicațiilor privind obținerea opririlor controlate. Pentru o bună comparație în figura următoare, vor fi considerate toate mărimile dinamice, ce descriu mișcarea

armonică sinusoidală, a dublului oscilator armonic în cazul ideal. Rezultatele au fost simulate într-un tabel, iar viteza respectiv accelerația au fost calculate prin derivare numerică:

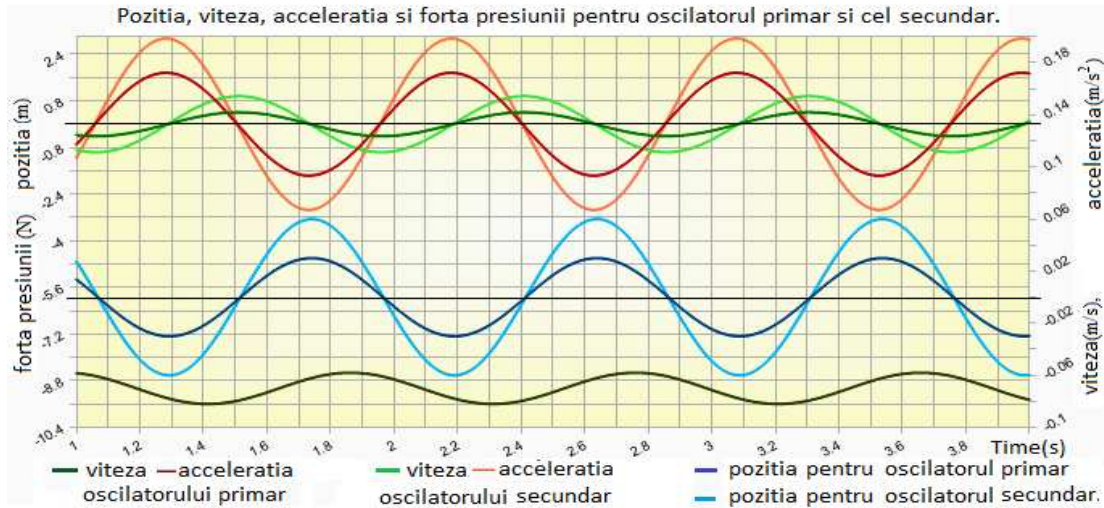


Figura 3.4 Graficele variației simultane ale mărimilor caracteristice ale ansamblului mecanic în configurație de dublu oscilator linear.

Putem observa cum în punctele de maxim și minim ale cursei ambilor oscilatori, prima derivată semnificând viteza, are un punct staționar, pe când derivata a doua are o schimbare de semn, în punctul în care sensul inerției corpului se schimbă și corpul își schimbă direcția de mișcare.

În figura următoare, vor fi considerate toate mărimile dinamice ce descriu mișcarea dublului oscilator armonic aflat în câmp magnetic nelinier, cu producere de oscilații discontinue și opriri controlate, în cazul practic, experimental. Rezultatele au fost înregistrate cu ajutorul plăcii de achiziții ale datelor, și etalonate în urma prelucrării descrise anterior, iar viteza respectiv accelerația au fost calculate prin derivare numerică, în tabele de analiza cu element finit pe tabelele de date experimentale.

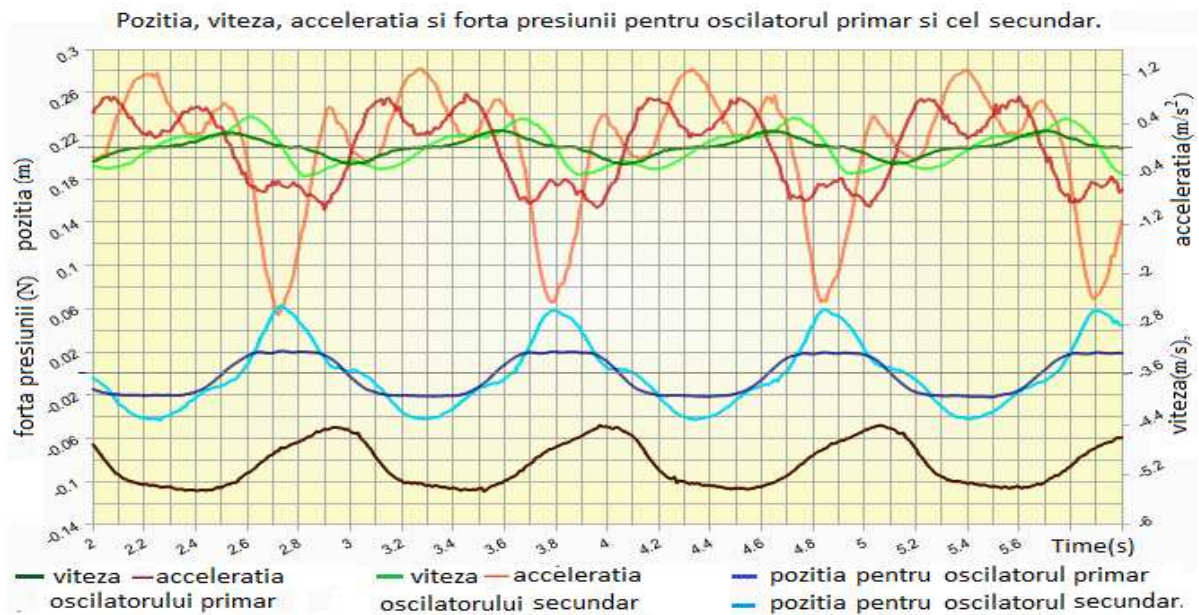


Figura 3.5 Graficele variației simultane ale mărimilor caracteristice ale dublului oscilator în câmp neliniar cu opriri controlate.

Se poate observa cum oscilatorul principal se oprește, cu transferul întregii cantități de mișcare către oscilatorul secund, și din punct de vedere energetic, oprirea se face cu conservarea energiei mecanice pe ansamblu.

Acest lucru se poate observa prin dubla schimbare de sens a accelerației pentru oscilatorul principal și secundar, așa cum se poate observa în figurile următoare. Pentru aceasta, au fost reprezentate într-un singur referențial, vitezele și accelerațiile pentru ambii oscilatori, aflați în câmp magnetic neliniar, după cum urmează:

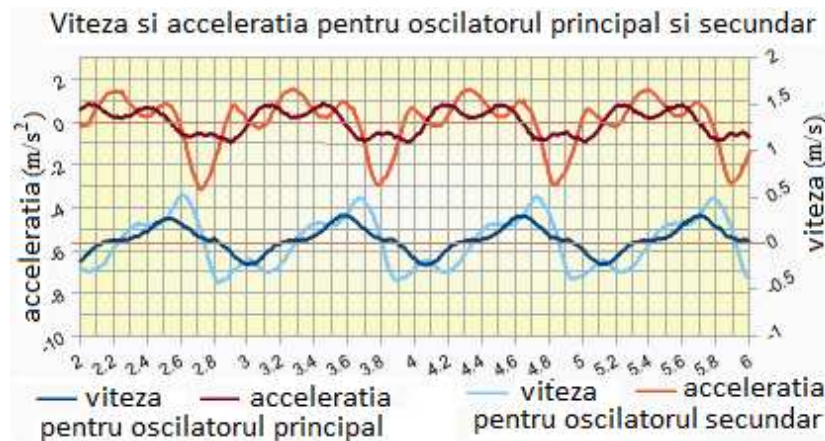


Figura 3.6 Graficele variației simultane ale mărimilor dinamice ale ansamblului mecanic în configurație de dublu oscilator linear în câmp neliniar cu opriri controlate.

Pentru o înțelegere mai profundă a fenomenelor ce conduc la apariția opririlor funcționale, care va fi făcută și în mod teoretic, au fost trasate în continuare graficele, pentru fiecare oscilator individual, relevând poziția, viteza și accelerația.

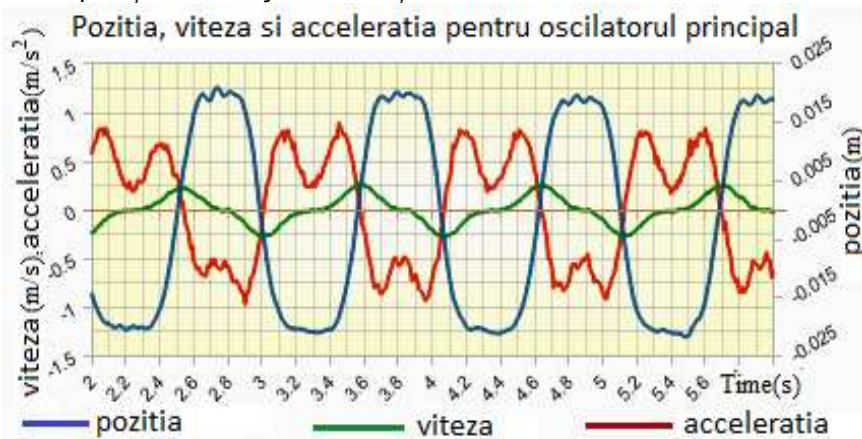


Figura 3.7 Graficele variației mărimilor dinamice ale oscilatorului principal aflat în câmp neliniar cu producere de opriri controlate.

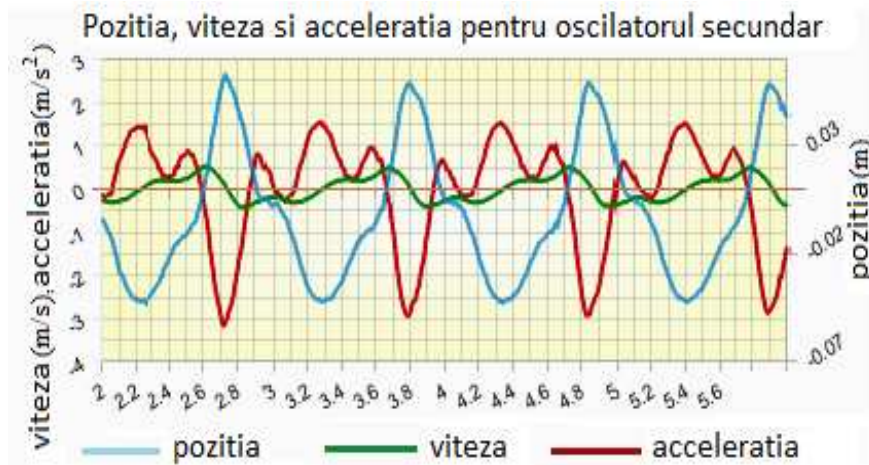


Figura 3.8 Graficele variației mărimilor dinamice ale oscilatorului secundar aflat în câmp nelinier cu producere de opriri controlate.

3.3 Concluzii ale achiziției, analizei, etalonării și prelucrării datelor experimentale.

În prima parte a acestui capitol, am prezentat schematic locul unde am poziționat senzorii în motor, și ce parametri funcționali ai procesului, au fost măsurați de aceștia.

Senzorii de presiune, poziție și volum, au fost construiți în varianta proprie, utilizându-se mecanisme simple, în legătura cu care s-au aplicat principiile și legile fizice în mod corespunzător, obținându-se variații cunoscute, și controlabile.

S-a ales această variantă, nu neapărat ca fiind doar una mai ieftină de studiu, ci și pentru că una din preocupările științifice ale autorului a fost de a obține o măsurare cu etalonare dinamică, de mare acuratețe și dedicată.

Placa de achiziție a datelor în calculator, a fost construită în variantă proprie, descrierea acesteia ca și modul de execuție, nu țin de preocuparea ideilor studiate în aceasta lucrare, dar fiind proiectată special pentru achiziție de date de medie viteză, am ținut cont de obținerea unui compromis optim între viteza de citire și acuratețea rezoluției.

S-a ales această varianta proprie a construcției plăcii de achiziții de date, deoarece s-a dorit ca toți senzorii să fie corect etalonați, și s-a mărit domeniul de măsurare, exact în domeniul de interes al măsurării utilizat curent.

Pe lângă acest fapt, etalonarea a fost făcută pe principii aplicativ - matematice, utilizând compoziții de funcții matematice implementate software, a funcției de măsurat cu o funcție inversă, aflată în prealabil de la senzorii stimulați cu variații liniare. În urma achiziției datelor experimentale, s-au obținut tabele de tip CSV, cu parametri înregistrați în timpi sincroni, pentru prelucrări prealabile.

Din datele primare, după procesul de etalonare, s-au obținut cu ajutorul tabelor de derivare și integrare numerică, noi mărimi fizice semnificative ale procesului studiat.

CAPITOLUL 4.

MODELAREA MATEMATICĂ, ANALITICĂ ȘI NUMERICĂ A PROCESELOR MECANICE ȘI TERMODINAMICE, CE STAU LA BAZA FUNCȚIONĂRII DISPOZITIVULUI EXPERIMENTAL “MOTOR CU AER CALD, CU OPRIRI CONTROLATE”.

4.1 Metodă analitică de integrare a ecuației diferențiale ce descrie mișcarea sistemului simplu oscilator masă-resort în câmp magnetic nelinier, obținerea de soluții eliptice și aplicații tehnice.

În acest punct al lucrării vom descrie o metoda de rezolvare prezentată în articolul științific : ”The Motion Equation of a Spring-Magnet-Mass System Placed în Nonlinear Magnetic Field. An Analytical Solution of Elliptic Sine form Functions. ”, [10] publicat în revista internațională British Journal of Mathematics and Computer Science.

Descrierea sistemului mecanic:

În figura următoare, în care este descris sistemul mecanic, doar partea lui oscilatorie mecanică primară, compusă din oscilator simplu în câmp mecanic și elastic, fără să includem deocamdată procesul motor termodinamic, observăm că un corp de masa m , este supus simultan celor două campuri: elastic liniar din partea resortului dar și magnetic puternic nelinier la capetele cursei, datorită contribuției campurilor magnetice ale celor doi magneti, ficsi exteriori corpului m , asupra magnetului interior corpului m .

Lucrurile se petrec ca în figura de mai jos, unde este reprezentată schematic situația mecanică a dispozitivului studiat.

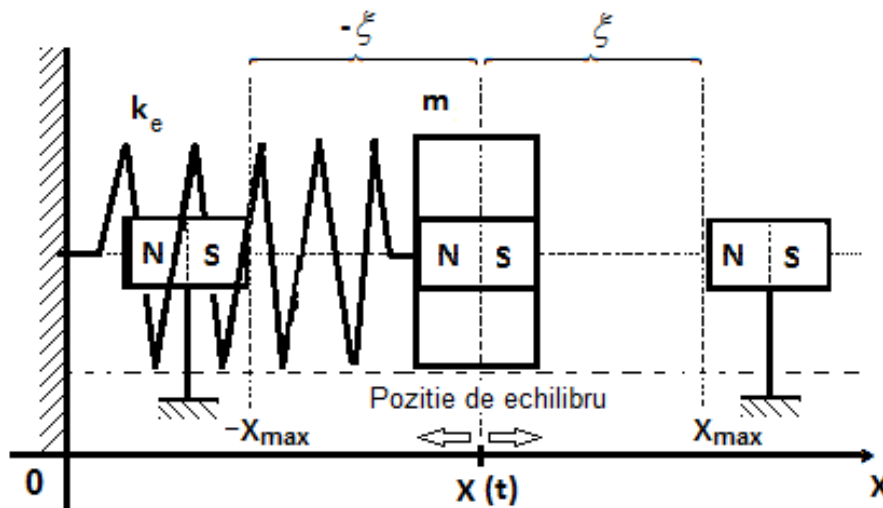


Figura 4.1 Sistemul mecanic compus din magnet resort și corp aflate în câmp nelinier.

Ținând cont de configurația dinamică și statică a echilibrului de forțe, vom găsi expresia ecuației diferențiale neliniare a sistemului mecanic, în forma următoare:

$$m \frac{d^2 X(t)}{dt^2} = -k_e X(t) + \frac{\lambda_{mag}}{[\xi - X(t)]^2} - \frac{\lambda_{mag}}{[\xi + X(t)]^2} \quad (1)$$

Forma soluției oscilațiilor generale ca funcții de timp și deplasament inițial, următoare:

$$X(t) = x_0 \operatorname{sn} \left[\frac{1.2873}{\sqrt{x_0}} t, \frac{4.551}{\sqrt{2x_0^2 - 1}} \right] \quad (2)$$

Iar o simulare a formulei de mai sus, pentru $x_0 = (1, 2, 2.8, 3.294)$, este următoarea:

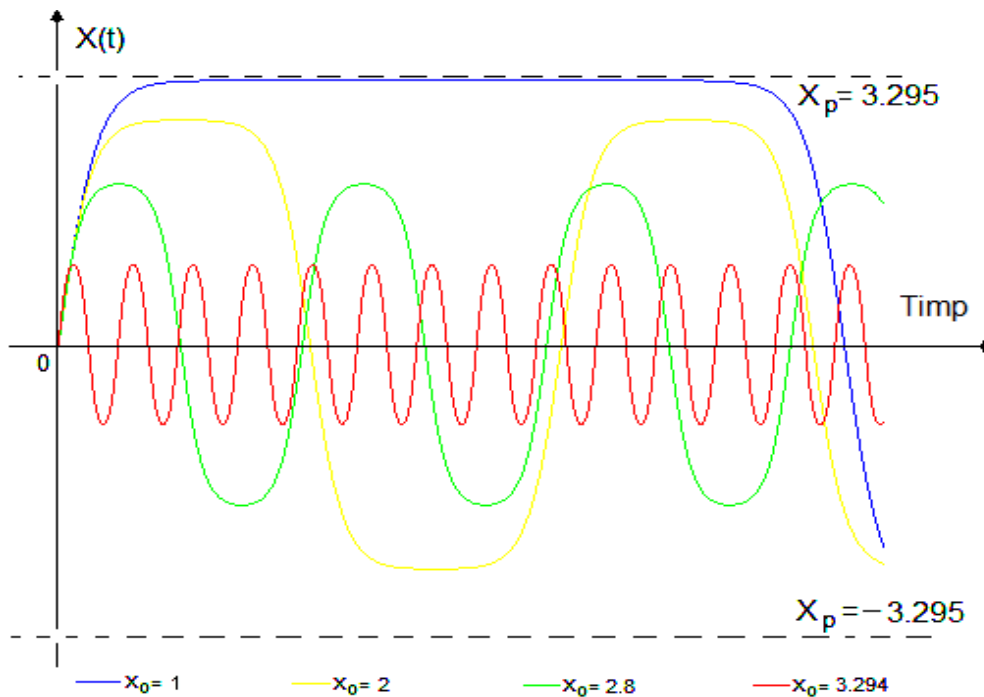


Figura 4.2 Tipuri diferite de oscilație, produse de sistemul arc-magnet-masă, în funcție de deplasamentul perturbăției inițiale x_0 , observându-se posibilitatea de oprire cu staționare a dispozitivului mecanic oscilatoriu.

4.2 Metoda analitică pentru integrarea unui sistem de două ecuații diferențiale de ordinul II, neliniare, cuplate și omogene, ce descriu cazul ideal al tipului de mișcare implicat în funcționarea de ansamblu a motorului, și posibile aplicații tehnice. Obținerea opririlor controlate în cazul ideal.

În acest punct al lucrării vom descrie o metodă de rezolvare prezentată în articolul științific : "The behavior of two coupled mechanical oscillators in non-linear fields and the possibility of obtaining controlled halts" [11], articol aflat în curs de publicare în revista internațională British Journal of Mathematics and Computer Science.

Descrerea sistemului mecanic, este prezentată în figura de mai jos și releva modul de interacțiune și dispunere mecanică a ansamblului. Mai specificăm că în acest model magnetii se consideră a fi de tip bară, având lungimea mai mare decât secțiunea suprafeței, aplicându-se pentru câmpul magnetic interacțiunea monopol de tip invers patrat de ordinul II, acest lucru fiind descris, așa cum s-a amintit deja, în paragraful precedent, în lucrarea mai sus amintită, privitor la aceiași modelare a câmpului magnetic permanent.

Sistemul este astfel gândit încât, liniile de câmp magnetic produse de cei doi magneti permanenți exteriori, să acționeze doar asupra ansamblului magnet-corp principal, iar asupra celui de-al doilea oscilator să nu acționeze în nici un fel. Întregul sistem mecanic, este tratat în mod ideal, ne existând pierderi de energie în interacțiunile magnetice sau mecanice, ambele subsisteme putând oscila liber în plan orizontal.

Situația mecanică este prezentată în continuare:

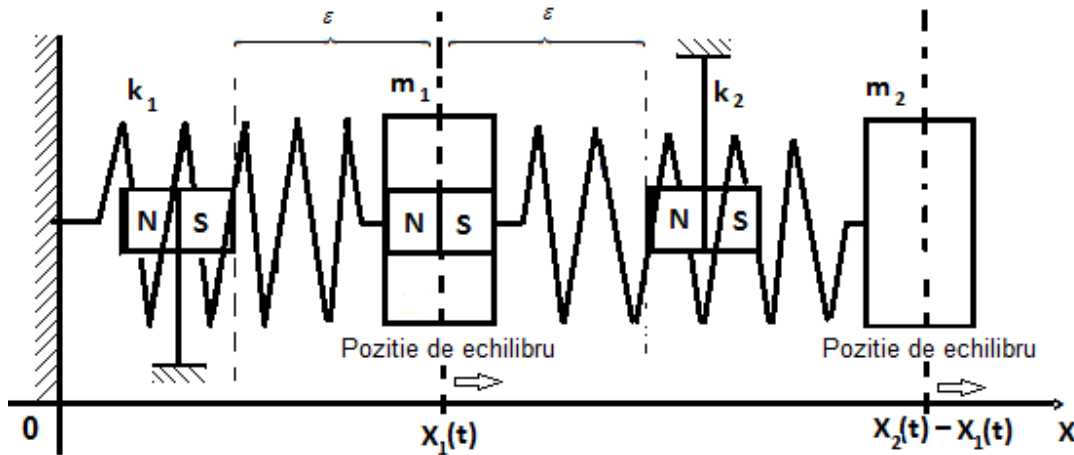


Figura 4.3 două subsisteme mecanice interactionand în câmp magnetic și elastic.

Ecuațiile diferențiale ce caracterizează acest sistem mecanic, se structurează în sistemul:

$$\left\{ \begin{aligned} m_1 \frac{d^2 X_1(t)}{dt^2} &= -k_1 X_1(t) + k_2 [X_2(t) - X_1(t)] + \frac{k_3}{[\epsilon - X_1(t)]^2} - \frac{k_3}{[\epsilon + X_1(t)]^2} \\ m_2 \frac{d^2 X_2(t)}{dt^2} &= -k_2 [X_2(t) - X_1(t)] \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Care are rezolvarea:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1(t) = -q x_{01} \sin(\omega_1 t + \varphi) + (n+1)x_{01} \operatorname{sn} \left[\frac{\zeta_3}{\sqrt{x_{01}}} t, \frac{\zeta_4}{\sqrt{2x_{01}^2 - 1}} \right] + \frac{q + \sqrt{q^2 + 4}}{2} x_{02} \sin(\omega_2 t + \varphi) \\ \\ X_2(t) = x_{01} \operatorname{sn} \left[\frac{\zeta_3}{\sqrt{x_{01}}} t, \frac{\zeta_4}{\sqrt{2x_{01}^2 - 1}} \right] - x_{02} \sin(\omega_2 t + \varphi) \end{array} \right. \quad (4)$$

Unde: $q, \omega_1, \omega_2, \varphi, n, \zeta_1 \dots \zeta_4$, sunt constante dependente de sistemul fizic, pe când: x_{01} și t , sunt variabile independente.

Simularea funcționării dispozitivului experimental cu ajutorul formulei găsite, prin utilizarea parametrilor tehnici experimentali:

Vom lua un exemplu practic aplicativ al formulei găsite, în care vom introduce valorile fizice ale constantelor sistemului mecanic al dispozitivului dublu oscilator constructiv descris în această lucrare.

Folosind următoarele constante practice:

$$\text{Valori Numerice} = \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = 5 \text{ mm} \\ m_1 = 1.265 \text{ g} \\ m_2 = 11.81 \text{ g} \\ k_1 = 0.585 \text{ mN / mm} \\ k_2 = 1 \text{ mN / mm} \\ k_3 = 1 \text{ mN / mm} \end{array} \right. \quad (5)$$

Obținem soluțiile dublu variabile:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1(t) = -0.585 x_{01} \sin(0.444 t) + 2x_{01} \operatorname{sn} \left[\frac{0.93432}{\sqrt{x_0}} t, \frac{6.107}{\sqrt{2x_0^2 - 1}} \right] + 1.334 x_{02} \sin(0.444 t) \\ \\ X_2(t) = x_{01} \operatorname{sn} \left[\frac{0.93432}{\sqrt{x_{01}}} t, \frac{6.107}{\sqrt{2x_0^2 - 1}} \right] - x_{02} \sin(0.444 t) \end{array} \right. \quad (6)$$

A căror simulare conduce la următoarele rezultate grafice:

- Pentru:

$$\begin{cases} x_{01} = 4.3732 \text{ mm} \\ x_{02} = -1.0 \text{ mm} \end{cases} \quad (7)$$

Avem graficul:

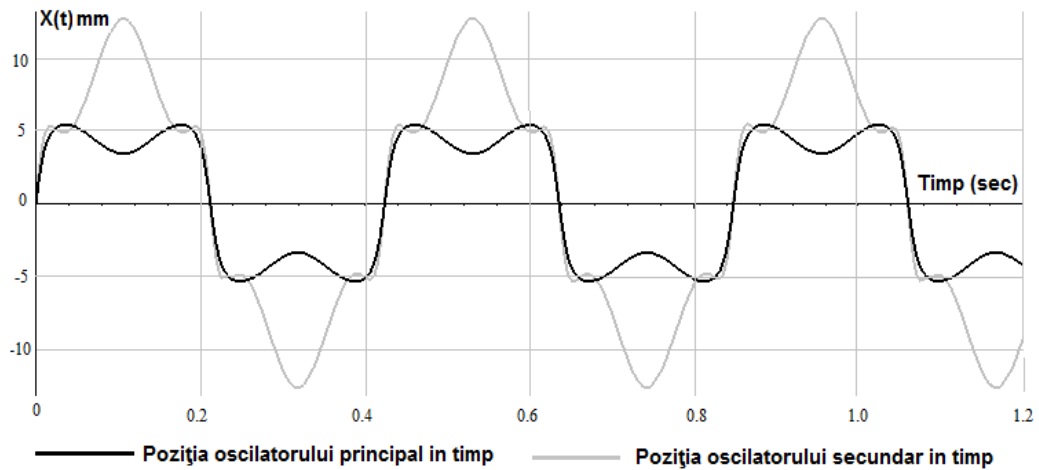


Figura 4.4 Graficul legilor de mișcare găsite în condițiile inițiale date.

- Pentru un impuls inițial de zece ori mai mic aplicat oscilatorului secund, în aceleași condiții aplicate oscilatorului principal vom obține:

$$\begin{cases} x_{01} = 4.3732 \text{ mm} \\ x_{02} = -0.1 \text{ mm} \end{cases} \quad (8)$$

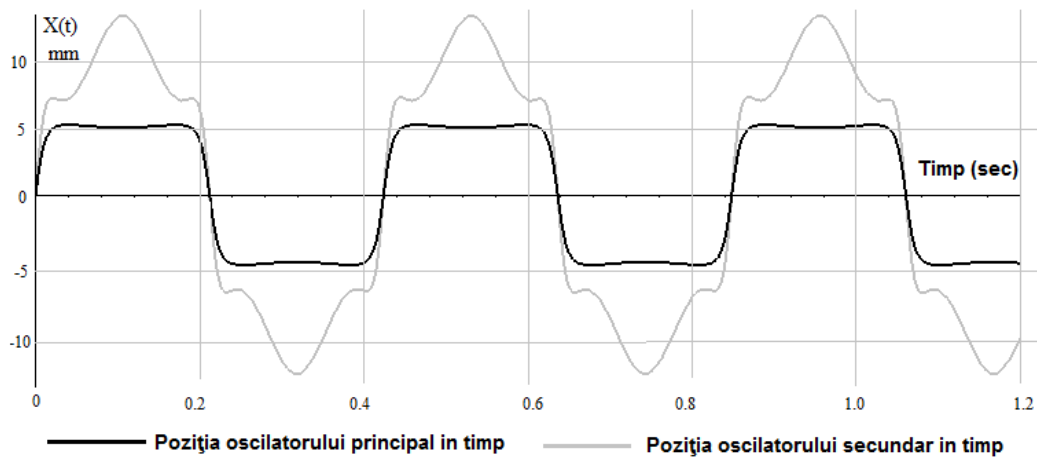


Figura 4.5 Graficul obținut prin simularea formulelor în condițiile de mai sus.

- Studiul teoretic prezentat mai sus, este confirmat și de către datele experimentale, așa cum se poate observa și în graficul prezentat în continuare.

Rezultatul experimental este următorul:

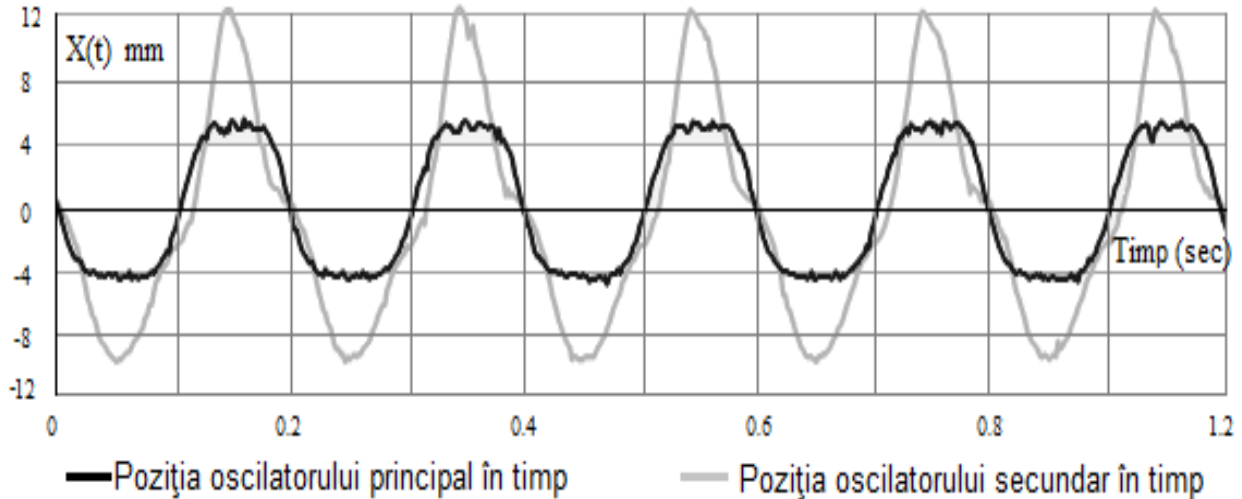


Figura 4.6 Graficul legii de mișcare determinat experimental.

- În rezultatul experimental de mai sus, putem observa cum cei doi oscilatori cuplați în câmp magnetic, respectă aproape întru totul dinamica interacțiunii celor doi oscilatori, pentru care a fost efectuat întreg studiul acestui paragraf.
- Asemănarea între cele două grafice, întărește ideea că legea matematică găsită, reprezintă o modelare bună a acestei situații experimentale.
- Există totuși câteva deosebiri esențiale, între rezultatul opririlor controlate, din punct de vedere teoretic și cel experimental, în sensul că la cel experimental, apar câteva inflexiuni neregulate ale graficului și diverse tipuri de „mini-oscilații”, ale oscilatorului principal în pozițiile sale staționare, acest lucru fiind pus pe seama, unor mici oscilații aparute în gazul de lucru, la modelul experimental. Minioscilațiile mai pot fi puse și pe seama perturbațiilor oscilatorii ce se propaga în mecanism, cu alte frecvențe de rezonanță.
- Rezultatele experimentale au fost obținute în condițiile descrise în capitolul 3, pe un motor cu aer cald cu opriri controlate, în condiții experimentale de laborator, unde s-a urmărit în desfășurarea determinării ca procesul să nu accelereze, energia mecanică produsă a fost la limita egală cu pierderile de energie mecanică prin frecare astfel încât se poate spune că există termeni de comparație între acest rezultat experimental, unde se vede o mișcare întreținută la parametri constanți și rezultatele simulării, care modelează o situație ideală.

4.3 Calculul numeric al transferului de căldură și al lucrului mecanic total în motorul cu funcționare continuă și motorul cu opriri controlate, pe baza prelucrării datelor experimentale.

În cele ce urmează, ne vom ocupa în mod special de prelucrarea tabelelor de date, pentru relevarea informațiilor concludente, ce țin de partea termodinamică a proceselor care contribuie la funcționarea motorului.

Deși nu se pot estima toți parametrii ce contribuie la dinamica transferului termic, procesul de transfer termic fiind unui în mod complex și distribuit în timp, în calculul pe element finit prezentat în cele ce urmează, s-au ținut cont de anumite modele simplificatoare.

Modelul de calcul următor, privind randamentul motorului experimental, a fost efectuat în ambele ipostaze ale funcționării (cu opriri controlate și cu funcționare continuă), ținând cont de datele înregistrate și etalonate, ce s-au materializat în tabele cu parametri cu variații în timp de forma următoare:

| a | b | c | d | e | f | g | h | i | j |
|------|--------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|--------------|----------------|
| t(s) | Press(atm) | Volume(dmc) | temperatura (K) | DU(Jouli) | L(Jouli) | Q(Jouli) | L total ciclu (j) | Qobs (Jouli) | Qobs total (J) |
| 0 | 0.9480687069 | 0.2980170755 | 293 | 0.73629454 | 0.39901882 | 1.13531335 | 0 | 1.13531335 | 0 |
| 0.01 | 0.9461742055 | 0.3022258297 | 296.5441373602 | 0.857931 | 0.39822147 | 1.25615247 | 0.399018816 | 1.25615247 | 1.1353133526 |
| 0.02 | 0.9461742055 | 0.3064345839 | 300.6737691237 | 0.98049257 | 0.45511025 | 1.43560282 | 0.797240283 | 1.43560282 | 2.3914658185 |
| 0.03 | 0.9461742055 | 0.3112445887 | 305.393348282 | 1.12089259 | 0.34133269 | 1.46222527 | 1.252350531 | 1.46222527 | 3.8270686365 |
| 0.04 | 0.9518577098 | 0.3148520924 | 310.7887397874 | 1.09386127 | 0.62953552 | 1.72339679 | 1.5936832169 | 1.72339679 | 5.2892939078 |
| 0.05 | 0.9480687069 | 0.321465849 | 316.0540166484 | 0.25425952 | 0.05700269 | 0.3112622 | 2.2232187393 | 0.3112622 | 7.012690698 |
| 0.06 | 0.9499832084 | 0.3220670996 | 317.2778891727 | 0.7570778 | 0.22846638 | 0.98554418 | 2.2802214273 | 0.98554418 | 7.3239529029 |
| 0.07 | 0.9537522113 | 0.324472102 | 320.9220663318 | 0.38001131 | 0.11468882 | 0.49470013 | 2.5086878074 | 0.49470013 | 8.3094970878 |
| 0.08 | 0.9556467127 | 0.3256746032 | 322.7512423346 | 0.3901293 | 0.05745832 | 0.44758761 | 2.6233766255 | 0.44758761 | 8.8041972205 |
| 0.09 | 0.9594357156 | 0.3262758538 | 324.629121021 | 0.01680034 | -0.11537226 | -0.09857192 | 2.6808349415 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.1 | 0.9632247185 | 0.3260733526 | 324.709989067 | -0.10398692 | -0.23165578 | -0.3356427 | 2.5654626814 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.11 | 0.9689082228 | 0.3226683502 | 324.2094503362 | -0.36659011 | -0.29127833 | -0.65786843 | 2.3338069049 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.12 | 0.9726972257 | 0.3198620972 | 322.4448770156 | -0.36898763 | -0.35090088 | -0.7198885 | 2.0425285792 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.13 | 0.97838073 | 0.3160545936 | 320.6687632803 | -0.3778221 | -0.3529512 | -0.7307733 | 1.6916277041 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.14 | 0.9840642343 | 0.3124470899 | 318.8501250051 | -0.64306821 | -0.47333537 | -1.11640358 | 1.3386765028 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.15 | 0.9897477386 | 0.3076370851 | 315.7547304881 | -0.39696346 | -0.35705185 | -0.75401531 | 0.8653411328 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.16 | 0.9954312429 | 0.3040295815 | 313.8439557096 | -0.53547616 | -0.41895254 | -0.95442871 | 0.508289279 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.17 | 1.0011147473 | 0.2998208273 | 311.266453117 | -0.54578305 | -0.42134459 | -0.96712764 | 0.0893367357 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.18 | 1.0067982516 | 0.2956120731 | 308.6393385611 | -0.55608993 | -0.42373664 | -0.97982657 | -0.3320078549 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.19 | 1.0124817559 | 0.2914033189 | 305.9626120419 | -0.43450997 | -0.36525316 | -0.79976313 | -0.7557444928 | 0 | 9.2517848336 |
| 0.2 | 1.0181652602 | 0.2877958153 | 303.8711079686 | -0.44334444 | -0.36730348 | -0.81064793 | -1.1209976514 | 0 | 9.2517848336 |

Figura 4.7 Calcul tabelar, asupra parametrilor termodinamici pentru aflarea randamentului modelului experimental. Explicatii.

În calculul tabelar ce va fi implementat, celulele corespunzătoare coloanelor, au următoarea semnificație fenomenologică:

a.

Câmpul „t(s)”, reprezintă intervalul infinitezimal de timp, în care se fac modelările numerice, în acest exemplu pasul fiind de 10 milisecunde, așa cum se vede în tabelul de mai sus.

b.

În câmpul „Press(atm)”, sunt încarcate valorile măsurate ale presiunii gazului de lucru, care au fost măsurate în timpul funcționării, în diverse ipostaze ale funcționării, cu ajutorul plăcii de achiziție a datelor.

c.

În câmpul „Volume(dmc)”, sunt încarcate valorile măsurate ale variației volumului incintei motorului cu aer cald, datorate mișcărilor oscilatorii continue sau cu opriri controlate sau tranzitorii ale pistonului de lucru, ale cărei poziții au fost măsurate în timpul funcționării, în diverse ipostaze ale funcționării.

d.

În câmpul „temperatura (K)” a fost calculată temperatura, punct cu punct, conform unui algoritm definit mai jos, reușindu-se modelarea modului în care gazul de lucru a primit și cedat căldură spre și de la sursele termice. S-a ținut cont de dinamica dilatării și contractării gazului de lucru pe ansamblu, găsindu-se temperatura medie momentană a gazului, și nu doar temperatura

e.

În câmpul „DU (Jouli)”, a fost calculată variația energiei interne a gazului de lucru, pentru fiecare punct în parte, pe baza formulei aferente energiei interne a unui gaz biatomic, așa cum se va vedea în continuare.

f.

În câmpul „L (Jouli)”, am calculat lucrul mecanic efectuat de presiunea gazului, datorat mișcării infinitezimale ale pistonului, și implicit a variației volumului gazului, prin integrare numerică.

g.

În câmpul „Q (Jouli)”, am calculat conform principiului I al termodinamicii căldura totală absorbită și cedată de către gaz, în timpul funcționării motorului.

h.

În câmpul „L total ciclu J)”, s-a intervenit asupra câmpului „L (Jouli)”, manual prin observație directă asupra câmpurilor de date, și cu ajutorul observației graficului ciclului PV format din puncte, observându-se unde începe un ciclu motor nou, și se încheie cel anterior, resetându-se exact acea celulă corespunzătoare timpului curent. Celulele se însumează succesiv pe perioada unui ciclu motor, care se încheie cu o sumă totală și o resetare în 0. S-a reușit astfel un calcul al lucrului mecanic total pe cicluri de funcționare, necesar calculării randamentului strict pe fiecare ciclu de funcționare.

h.

În câmpul „Qabs J)”, acționează o formulă de tip logic de tip „numai pozitiv”, aducându-se din câmpul g, numai acele valori pentru care Q este strict pozitiv, știut fiind faptul că la calculul randamentului contribuie doar căldura absorbită.

i.

În câmpul „Qabs total J)”, se face un calcul sumativ, strict pe un ciclu de funcționare, resetarea în 0, fiind de asemenea prin observație directă. Randamentul se obține în celulă corespunzătoare încheierii unui ciclu motor complet, prin efectuarea raportului dintre lucrul mecanic total și a căldurii absorbite, nete pe un timp motor complet.

Calculul numeric, s-a făcut pe baza următorului model de raționament, și ținând cont de următoarele ipoteze simplificatoare:

- Deoarece presiunile și temperaturile au fost cele uzuale (Temperatura și Presiunea, la care funcționează motorul, se pastrează în valori apropiate de cele medii ambiante), gazul de lucru nu își schimbă semnificativ structura, de aceea nu se pune problema utilizării ecuației VanDer Vals, pentru gazul de lucru, ci este de ajuns o modelare cu ecuația termică de stare, luată pentru un caz biatomic, de forma următoare:

$$PV = \nu RT^{(k)} \quad (9)$$

- În cazul funcționării motorului cu aer cald, vom înregistra doi parametri semnificativi ai transformării termodinamice (presiunea și volumul) și vom calcula al treilea parametru cu ajutorul transformării generale, impuse de ecuația termică de stare:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1^{(k)}} = \frac{P_2 V_2}{T_2^{(k)}} = \dots = \frac{P_n V_n}{T_n^{(k)}} = ct = \nu R \quad (10)$$

- Deoarece avem de-a face cu un sistem închis, fără schimb de substanță cu exteriorul, considerăm că variația energiei interne a gazului depinde doar de temperatură, ce va fi calculată din formula precedentă, obținută din calculul tabelar pe baza diferentelor finite:

$$T_n^{(k)} = \frac{P_n V_n}{P_{n-1} V_{n-1}} T_{n-1}^{(k)} \quad (11)$$

- Variația de energie internă va fi calculată astfel:

$$\Delta U = \frac{5}{2} R (T_n^{(k)} - T_{n-1}^{(k)}) \quad (12)$$

- Pe baza bine cunoscutei formule a lucrului mecanic al presiunii gazelor, s-a calculat lucrul mecanic efectuat de gaz, din tabelul cu integrare numerică, în forma următoare:

$$L_n = P \Delta V = P_n (V_n - V_{n-1}) \quad (13)$$

- Aplicând apoi primul principiu al termodinamicii, vom putea calcula căldura absorbită și cedată pe fiecare ciclu cu ajutorul expresiei următoare:

$$Q_n = \Delta U + L = \Delta U_n + L_n \quad (14)$$

- Cu ajutorul formulei randamentului, aplicat valorilor nete la încheierea unui ciclu motor:

$$\eta_{\text{ciclu motor}} = \frac{L_{\text{total}}}{Q_{\text{absorbit}}} \quad (15)$$

Întreaga idee a acestui calcul, este de a extrage, din informațiile prezente în sirurile de date aferente variației presiunii și temperaturii, pentru timpi sincroni, informațiile referitoare la modul

în care gazul primește căldură de la cele două surse de căldură, prin toate modalitățile de transfer termic în mod dinamic, rezultatul fiind evidențiat în figurile ce vor fi prezentate în continuarea acestui paragraf.

În cele ce urmează, vom prezenta câteva grafice cumulate, prezentate cu toți parametri sincronizați în timp, o parte fiind înregistrați iar alta parte fiind simulați pe baza relațiilor fizico-matematice amintite anterior, prezentarea continuând atât parametri termodinamici cât și parametri mecanici.

a.

Funcționarea continuă, este prezentată în graficul cumulat :

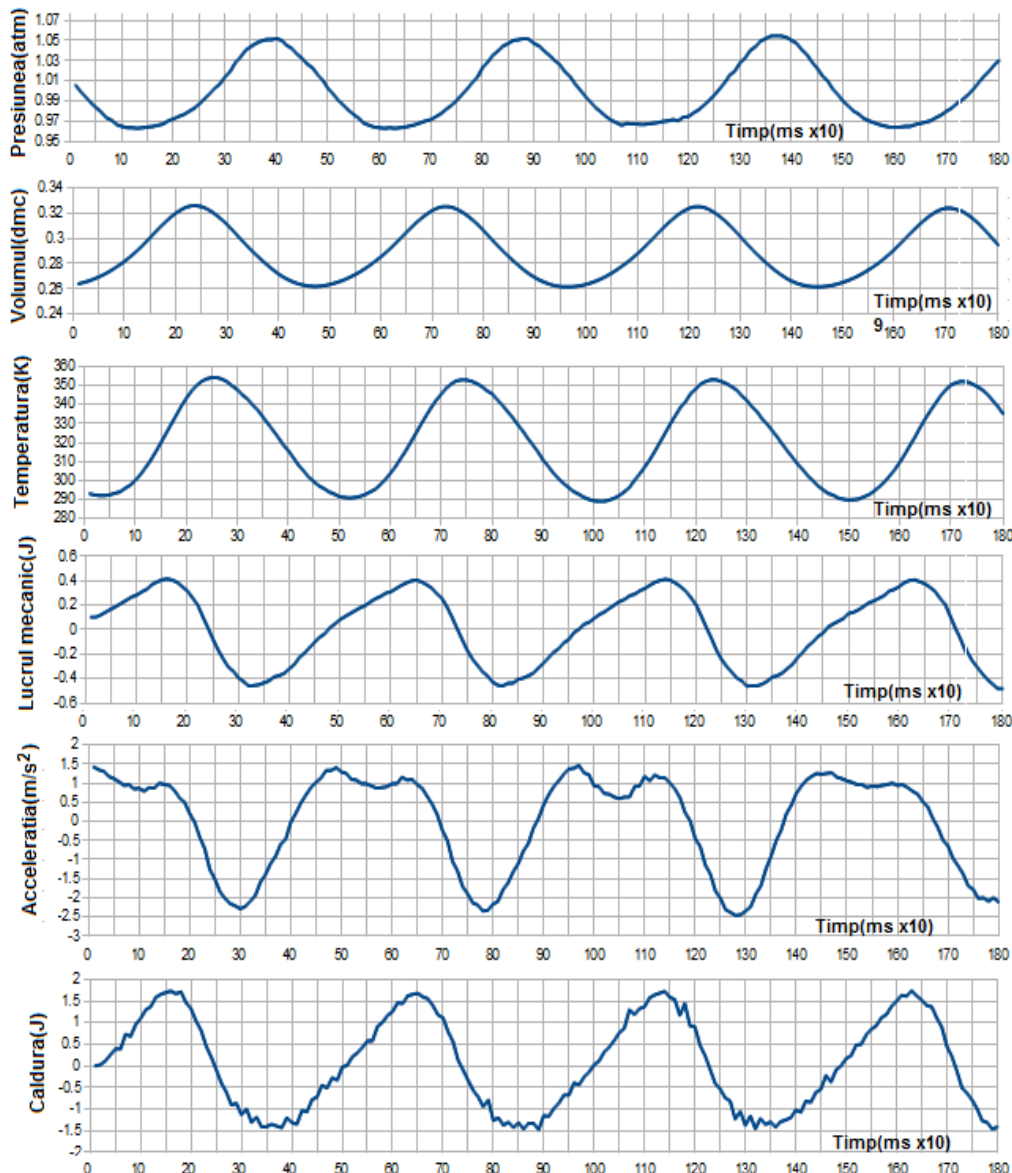


Figura 4.8 Graficul celor mai semnificativi parametri de funcționare ai motorului cu aer cald cu funcționare continuă, înregistrați simultan.

Discuții:

Din figura mai sus prezentată, ies în evidență următoarele observații tehnice:

Variația presiunii este defazată față de variația volumului, lucru care are loc datorită apariției fenomenelor de dilatație și contractie periodică în gazul de lucru, ce contribuie întârziind suplimentar fenomenele amintite.

Astfel ca urmare a creșterii temperaturii gazului de lucru, până în jurul valorii de 350 K, volumul ajungând la cote minime, gazul se va comprima până la presiunea de 1.05 atmosfere, din două motive:

- Datorită scăderii volumului, conform cu ecuația de stare a gazelor pentru sistem fără schimb de substanță.
- Datorită creșterii temperaturii, până la valoarea mai sus amintită.

Temperatura atinge nivelul maxim, când volumul atinge maximum, totuși dinamica creșterii temperaturii este mai mică decât dinamica micșorării volumului, temperatura având o tendință crescătoare, atingând de asemenea o valoare maximă, în timp ce volumul devine minim și presiunea scăzând în consecință.

Variația volumului, datorată mișcării pistonului de lucru ce este antrenat de presiunea gazului, produce lucru mecanic, după ce mai întâi în avans, pe fiecare ciclu de funcționare gazul absoarbe și cedează căldură, către și de la sursa caldă.

O coloană ce înglobează un parametru mecanic, conține variația accelerației, provenită de la variația infimă a legii de mișcare a oscilatorului principal, a fost inclusă în grafic cu timpii sincronizați fenomenologic, tocmai pentru a se putea vedea în ce zonă pistonul efectuează lucru mecanic asupra gazului (cheltuiind lucru mecanic, și pierzând energie), și în ce zonă din grafic, gazul efectuează lucru mecanic asupra pistonului (contribuind pozitiv și aducând aport energetic asupra sistemului mecanic).

În acest sens putem observa că în timp ce lucrul mecanic își schimbă sensul de două ori pe ciclu complet de funcționare, accelerația corpului principal își schimbă sensul algebric de patru ori pe un ciclu complet de funcționare, iar acest lucru are o explicație de felul următor: Pe un ciclu complet de funcționare, gazul dilatăndu-se accelerează corpul principal o singură dată, și îl deaccelerează tot o singură dată, celelalte două inflexiuni ale sensului accelerației datorându-se neconcordanței dintre terminarea vitezei de dilatație termică înainte de terminarea cursei oscilației, iar aceasta este o problemă de nesincronizare a timpului de oscilație mecanică cu timpul de desfășurare al fenomenelor termice.

b.

Funcționarea cu opriri controlate, este prezentată în graficul cumulat următor :

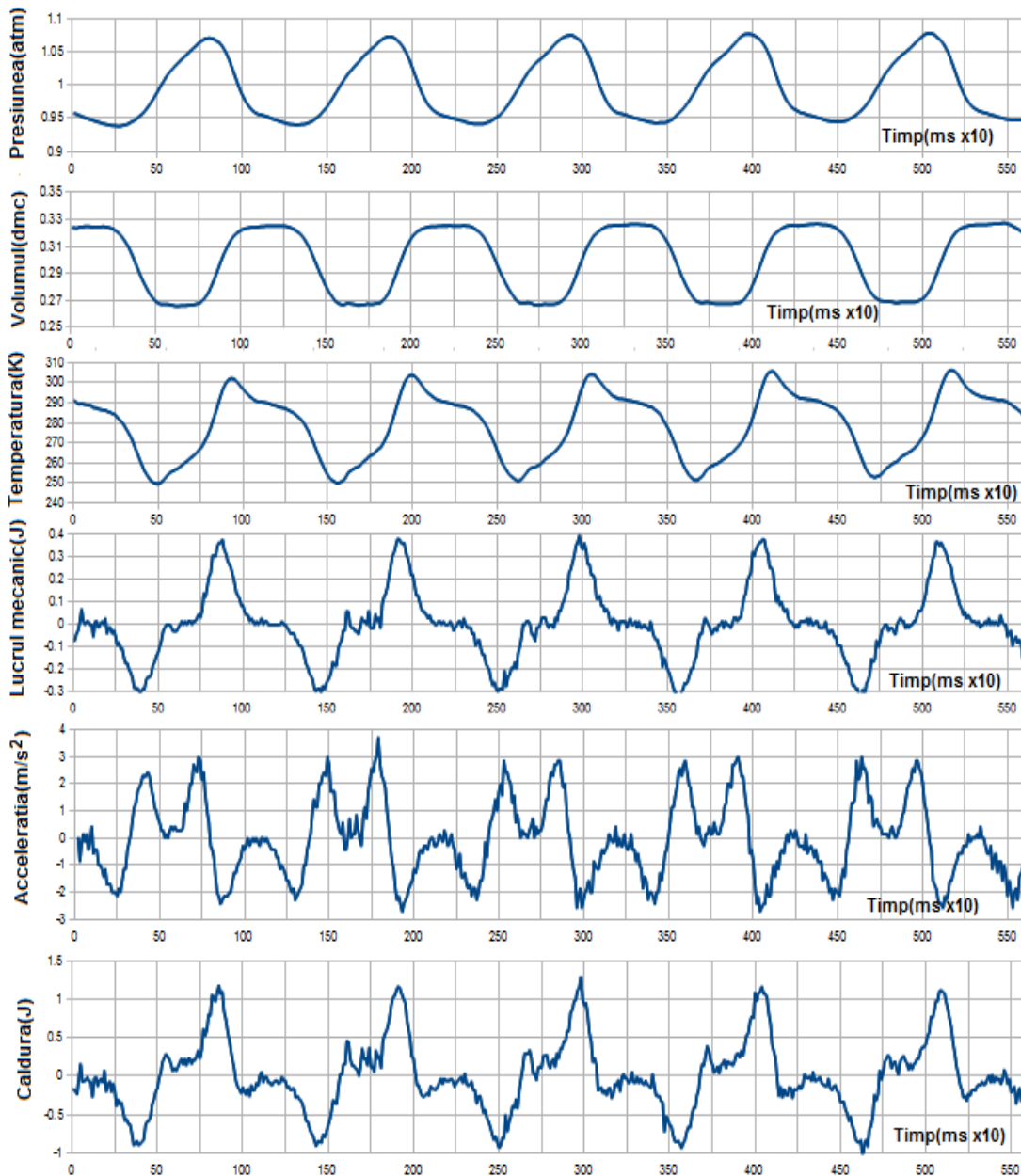


Figura 4.9 Graficul celor mai semnificativi parametri de funcționare ai motorului cu aer cald la funcționare cu opriri controlate, înregistrați în simultan.

Discutii:

Din figura mai sus prezentată, ies în evidență următoarele:

În primul rând, evidența opririlor controlate, schimbă aproape complet forma grafică a parametrilor amintiți în subpunctul anterior, astfel încât ne vom referi pe rând la toți parametrii, privind fenomenele în spectrul acestor opriri controlate, după cum urmează:

- Presiunea ca funcție de timp, are o supracrestere pe perioada opririlor controlate, fapt ce se datorează în principal blocării sau oprii pistonului de lucru, gazul de lucru destinându-se la volum constant, cu o creștere aproximativ liniară, cu inflexiuni dinamice la capetele cursei când pistonul se oprește sau se pune în mișcare periodică.
- Presiunea este de asemenea, defazată în timp față de variația volumului, iar acest lucru se datorează faptului amintit la subpunctul anterior, și anume defazajul (dorit, și neaparat necesar, la motoare termice), realizându-se datorită celor două fenomene, (datorită scăderii volumului și datorită scăderii temperaturii).
- Temperatura gazului de lucru, ca funcție de timp, are creșteri și scăderi semnificative (varfuri termice), la terminarea cursei tranzitorii a pistonului de lucru, datorită marii viteze de transfer termic ce caracterizează convecția forțată, iar acest lucru este pe deplin explicat în capitolul 5, unde se va ține cont de ponderea timpilor de tranzit și de oprire în calculul cantității de căldură schimbată de gazul de lucru.
- Lucrul mecanic efectuat de sistemul termodinamic asupra sistemului mecanic și invers, încetează, devenind aproape zero, în perioada opririlor controlate, declansându-se sub forma de varfuri, de forma triunghiulară în perioadele tranzitorii, către și dinspre zonele staționare.
- O discuție interesantă se poate face în comparație cu cazul funcționării continue, asupra cantității de lucru mecanic total efectuat pe ciclul de funcționare, în sensul că lucrul mecanic în cele două cazuri ar trebui să fie egale, ținând cont de deplasarea netă a pistonului de lucru, și de media distribuită ca timp a variației presiunii. Totuși ținând cont de parametrii dinamici ai vitezelor de deplasare, de vâscozitatea și forțele de frecare variabile cu viteza, vom ține cont că vor exista variații nete ușor diferite ale lucrului mecanic total, în cele două cazuri studiate.
- Graficul accelerației corpului principal ca variație temporală, reliefează faptul că există opt schimbări ale sensului accelerației, pe ciclul complet de funcționare, spre deosebire de funcționarea continuă, iar o explicație ar putea fi structurată astfel. Pe un ciclu complet de funcționare, gazul dilatăndu-se, accelerează corpul principal, o singură dată, și îl decelerează tot o singură dată, alte două inflexiuni ale sensului accelerației datorându-se neconcordanței dintre terminarea sau supracresterea vitezei de dilatare termică înaintea terminării cursei oscilației, aceasta este o problemă de nesincronizare a timpului de oscilație mecanică cu timpul de desfășurare al fenomenelor termice. Celelalte patru inflexiuni ale accelerației datorându-se transferului controlat de impuls mecanic între cei doi oscilatori mecanici, fiind de altfel cauza opririi. Causa apariției celor patru schimbări de sens ale accelerației se află în franarea și accelerarea bruscă datorată creșterii influenței câmpului neliniar, concomitent cu schimbarea poziției oscilatorului principal.
- Căldura transferată spre și dinspre gazul de lucru, are următoarea dinamică, corespunzătoare intervalelor de oprire, și de tranzit între stările staționare, ale

oscilatorului principal. Astfel putem spune ca exista o diferenta considerabil mai mica, a cantitatii de caldura transferata pe perioada opririlor controlate, decat in perioada de variatie a volumului, iar aceasta va face obiectul unui studiu suplimentat, alocat următorului capitol al tezei.

În cele ce urmează, vom analiza ciclul termodinamic PV, trasat în situația funcționării continue, pe baza datelor experimentale, după cum urmează:

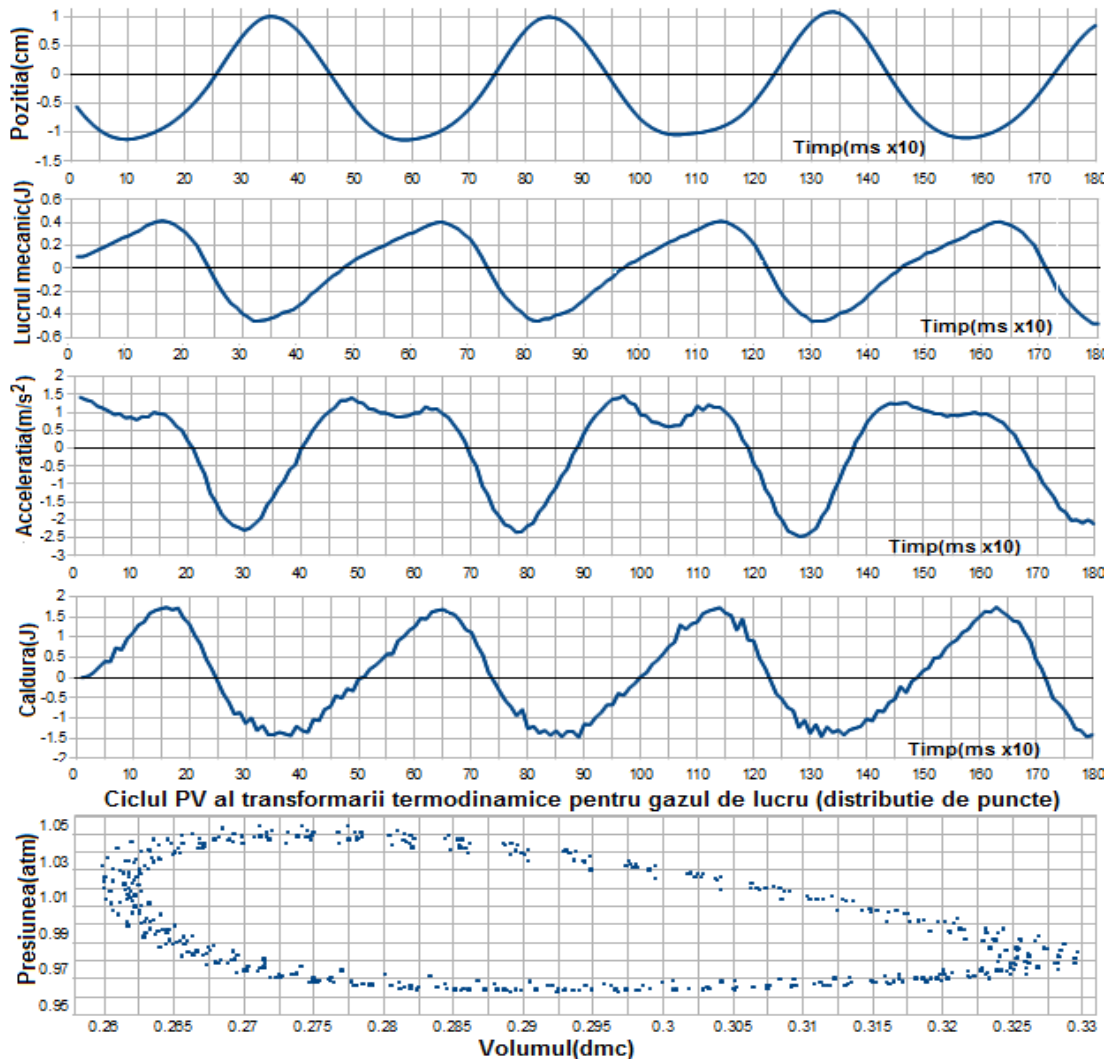


Figura 4.10 Analiza randamentului motorului cu aer cald, la funcționarea continuă. Parametrii au fost înregistrați sau calculați simultan.

Scurte concluzii:

- Pe baza celor analizate anterior, cu privire la variația parametrilor termodinamici, la funcționarea continuă, a faptului că orice motor termic, prezintă un defazaj cert între presiune și volum (valoarea defazajului situându-se întotdeauna sub un sfert de

perioada), putem trasa ciclul PV ca o curbă a variației biunivoce, de felul descris mai sus.

- Se pot vedea marginile rotunjite ale curbelor care descriu trecerea dintre cele 4 transformări termodinamice, niciodată perfect delimitate, și cu fenomene termodinamice, tranzitional distribuite.

În cele ce urmează, vom analiza ciclul termodinamic PV, trasat în situația funcționării cu opriri controlate, pe baza datelor experimentale, după cum urmează:

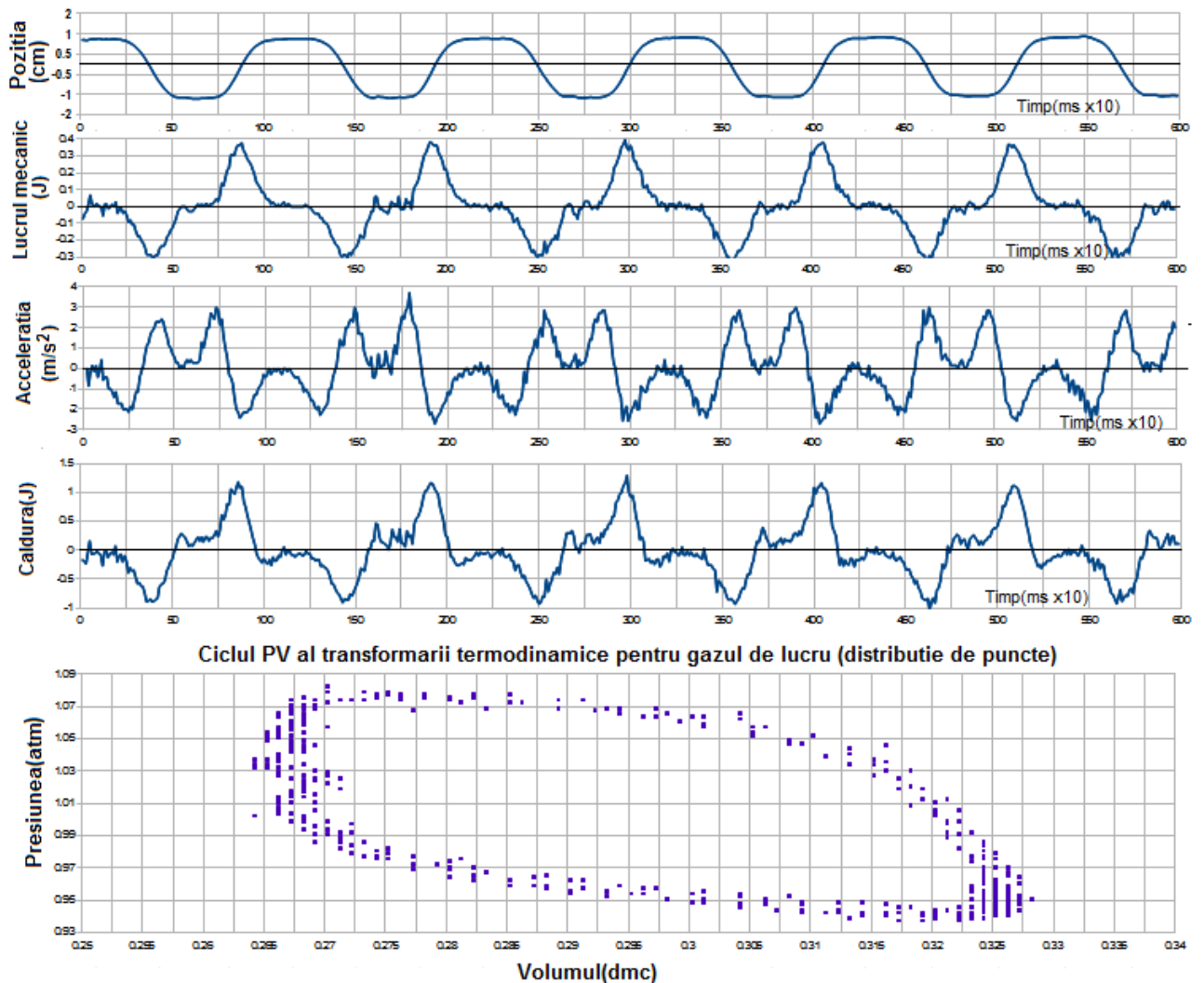


Figura 4.11 Analiza randamentului motorului cu aer cald, la funcționarea cu opriri controlate. Parametrii au fost înregistrați, sau calculați simultan.

Concluzii preliminare la graficul ciclului PV, la oprirea controlată:

- Pe toată perioada opririlor controlate se pot vedea structuri de puncte, care se grupează sub forma de linii verticale izocore, unde transferul termic se face prin transformări termodinamice izocore, așa cum se va vedea în capitolul 5.
- Pe aproape două treimi din perioada de deplasare tranzitorie, graficul din distribuție de puncte se poate structura ca niște trepte cu pantă negativă, unde transformările se pot aproxima ca fiind izobare, acest lucru datorându-se faptului că deși pistonul se pune în mișcare, presiunea rămâne o perioadă de timp constantă, deoarece a existat în prealabil o supracreștere accentuată.

Spre analiză și comparație, vom prezenta în figura 4.42, de mai jos, pentru aceiași timpi de defasurare ai evenimentelor și pentru aceleași etaloane de măsură, corespunzător cu aceiași parametri termodinamici de testare, o suprapunere a celor două cicluri termodinamice PV, unde se pot distinge următoarele caracteristici:

- Aria intergraficului corespunzător fenomenului opririlor controlate este ușor mai mare decât aria corespunzătoare mișcării continue a pistonului de lucru.
- Mișcarea pistonului de lucru este mai bine distribuită în timp, făcându-se controlat, iar perioadele de absorbție și cedare a căldurii fiind împartite între transformarea izocora (proces de convecție naturală și conducție), și întretransformarea izobara (mișcare rapidă, convecție forțată).
- Există încă două zone cu transformări neancadrabile instandardele cunoscute, dar care pot semăna cu procese politrope.

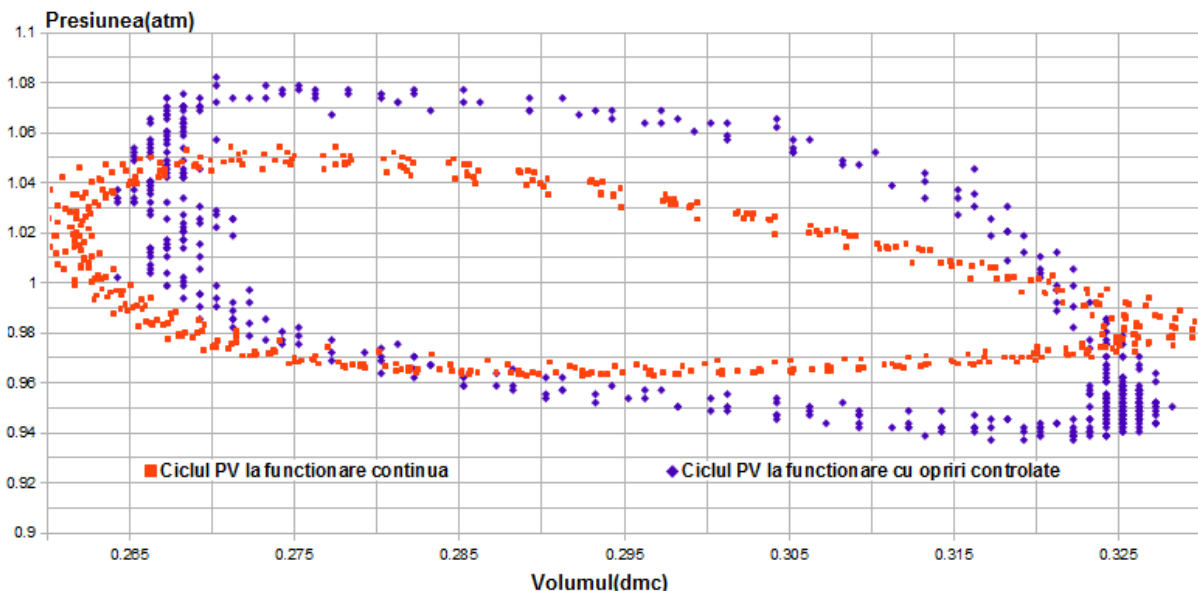


Figura 4.12 Ciclul PV comparativ pentru mișcarea continuă și mișcarea cu opriri controlate, grafic din distribuție de puncte

În cele ce urmează, am selectat din coloanele de rezultate grafice, două grupuri de date a câte 5 cicluri de funcționare fiecare, ce vor releva, modalitatea de calcul al randamentului prin

metode numerice de calcul, atât la funcționarea continuă, cât și la funcționarea cu opriri controlate.

Avem în figura următoare cei 5 cicli motori, pentru funcționarea în mod continuu:

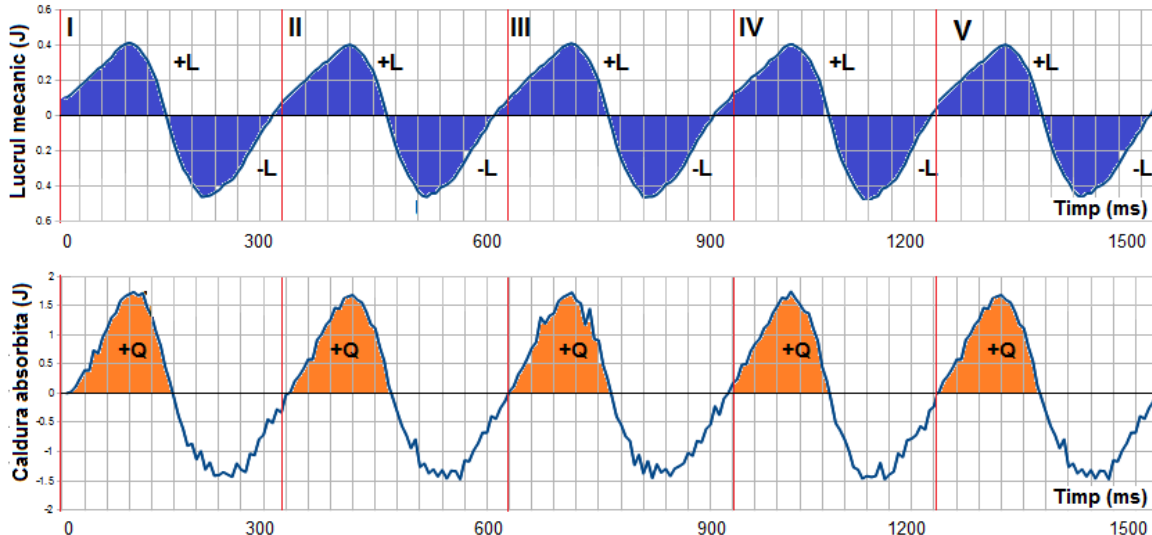


Figura 4.13 Analiza grafică a raportului dintre lucrul mecanic total și caldura absorbită de către gazul de lucru în timpul funcționării continue, pentru 5 cicli de funcționare.

Iar în figura următoare cei 5 cicli motori ai funcționării discontinue:

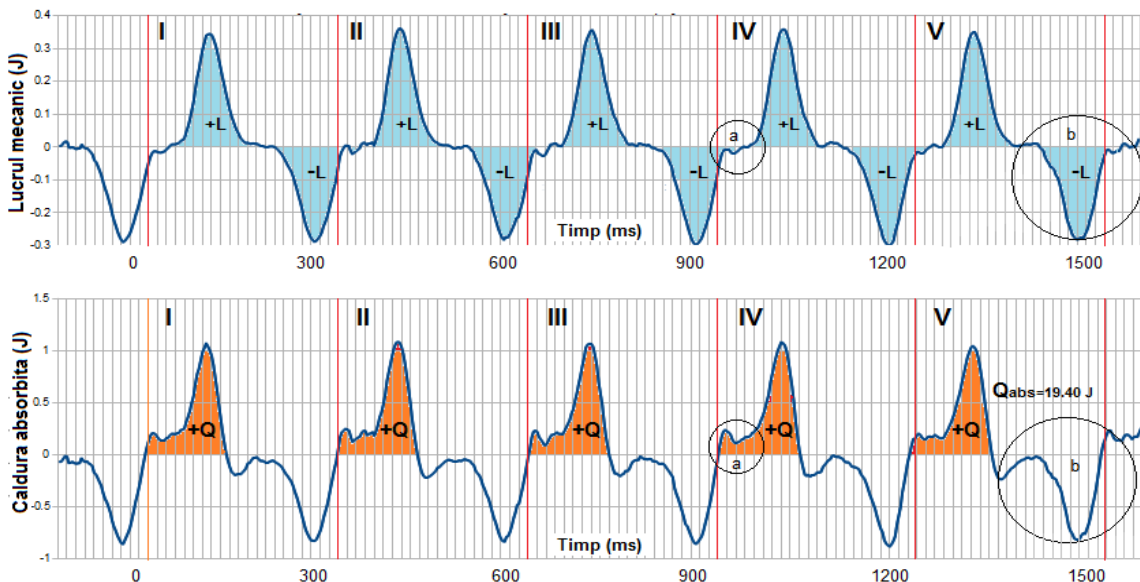


Figura 4.14 Analiza grafică a raportului dintre lucrul mecanic și caldura absorbită de către gazul de lucru în timpul funcționării cu opriri controlate, pentru 5 cicli de funcționare

4.4 Calcule efectuate în urma prelucrării datelor experimentale, pentru aflarea randamentului motorului, în timpul funcționării în regim continuu și în regimul de opriri controlate. Limitări funcționale în obținerea maximului de eficiență.

În cele ce urmează, vom descrie din tabelele cu date experimentale graficele suprapuse ale marimilor termodinamice, care influențează funcționarea motorului, spre comparație.

a.

Comparația variațiilor presiunii gazului de lucru, în cazul funcționării continue și al funcționării cu opriri controlate, ale funcționării motorului cu aer cald.

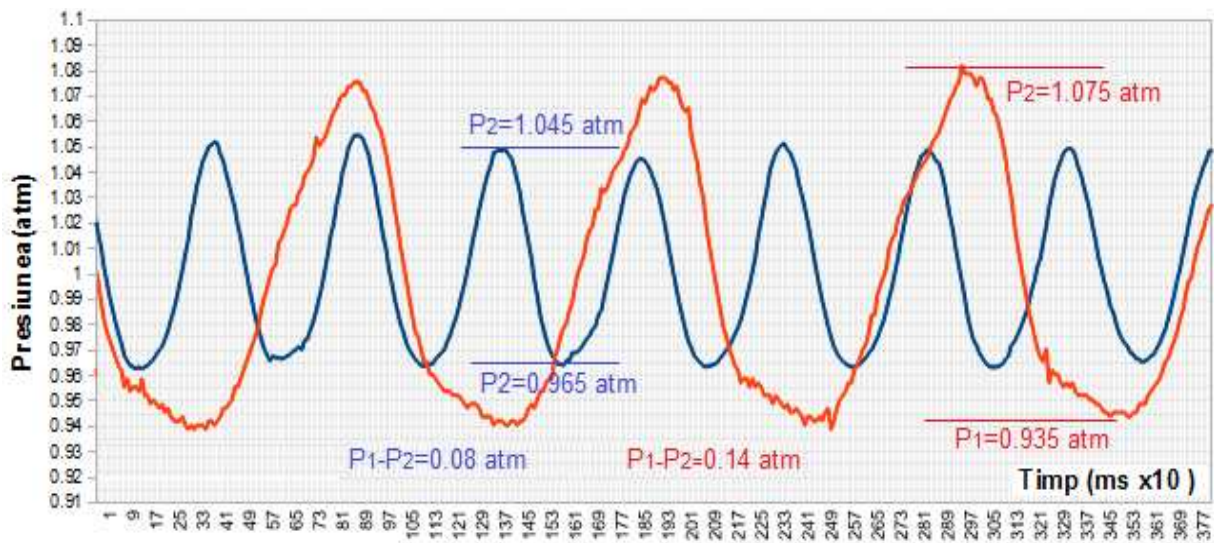


Figura 4.15 Variația presiunilor gazului de lucru la mișcarea cu opriri controlate și la funcționarea continuă. Supracresterea izocora a presiunii, în timpul opririlor.

Se observă că în timpul opririlor controlate, presiunea are o supracrestere considerabilă, deoarece motorul nu mai efectuează lucru mecanic, gazul continuând să se dilate.

Presiunea crește în timpul opririlor de aproximativ de 1.75 ori, aproape dublându-se, așa cum se vede în graficul de mai sus.

Efectele creșterii presiunii, asupra transferului termic la volum constant, sunt cunoscute din lucrări de specialitate, și din tabelele cu variațiile parametrilor gazelor precum lucrarea [12], având ca influență pe deoparte scăderea coeficientului capacității calorice la volum constant, iar pe de altă parte datorită creșterii vitezei termice medii, și micșorării spațiului de ciocnire intermolecular, transferul termic este modificat înspre creșterea vitezei cu care se desfășoară.

Se observă deasemeni o creștere aproximativ liniară, a presiunii pe perioada opririlor controlate vizibilă în figura 4.45.

b.
Comparația variațiilor temperaturilor gazului de lucru, în cazul funcționării continue și al funcționării cu opriri controlate, ale funcționării motorului cu aer cald.

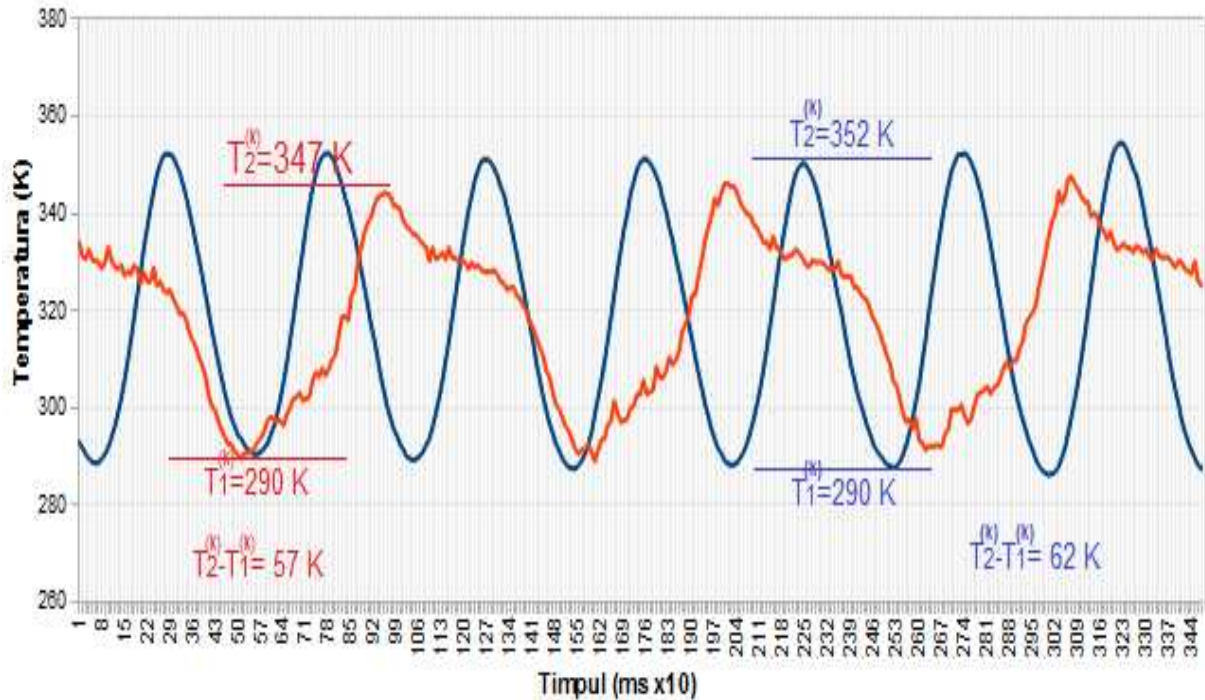


Figura 4.16 Variația temperaturilor gazului de lucru la mișcarea cu opriri controlate și la funcționarea continuă, pentru aceleași temperaturi ale surselor termice

Temperaturile la care ajunge gazul de lucru în timpul funcționării pentru ambele tipuri de funcționare sunt puțin diferite, dar nu cu mult. Temperatura scade la opriri de 1.08 ori, așa cum rezulta din analiza grafică următoare.

În cazul graficului corespunzător opririlor controlate, variațiile abrupte, ce se termină cu varfuri ale valorilor temperaturii, se datorează transferului termic convectiv, ce are loc în perioada timpilor de tranziție între cele două stări staționare. Precizăm că în regim de convecție forțată acest transfer termic, are valori importante cantitativ și se petrece cu viteză mare, în acest sens indicăm lucrarea [13].

Faptul că variația de temperatură a gazului de lucru, este mai mică în cazul funcționării discontinue față de funcționarea continuă, este tot o urmărire directă a modului modificat de funcționare, și o posibilă explicație este aceea că, gazul are nevoie de mai puțină căldură pentru a ajunge la aceeași stare de dilatație, în cazul dilatării/contractiei izocore, față de cazul

dilatarii/contractiei izobare, fenomenul fiind cu atât mai semnificativ, cu cât proprietățile adiabatice ale gazului sunt mai perfecționate, în acest sens indicăm lucrarea științifică [14].

c.

Comparația variațiilor volumului gazului de lucru, în cazul funcționării continue și al funcționării cu opriri controlate, pe timpul funcționării motorului cu aer cald.

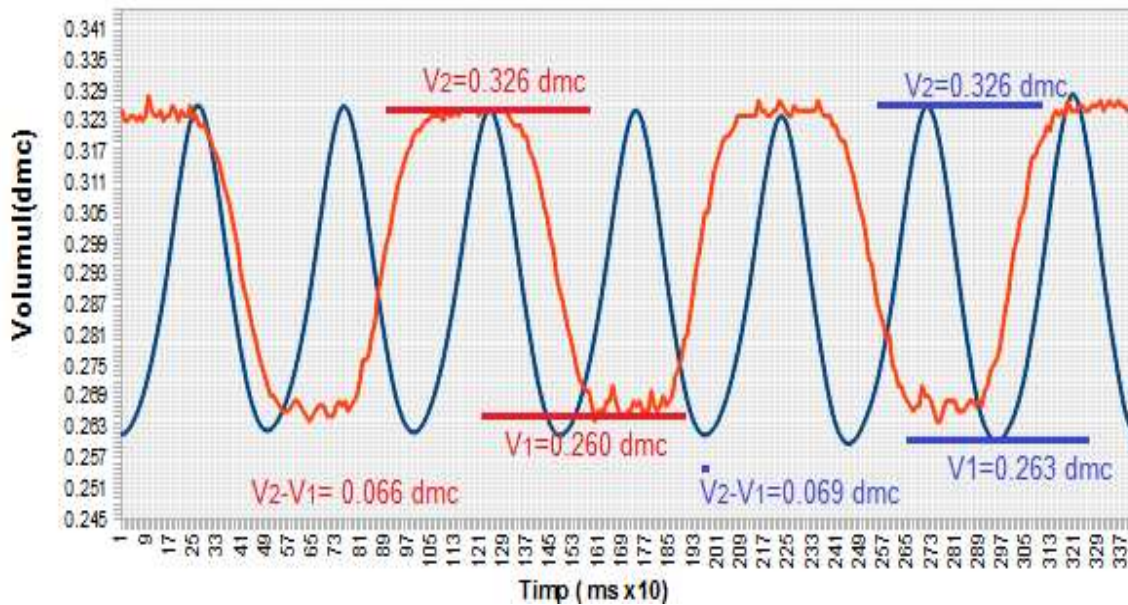


Figura 4.17 Variația volumului gazului de lucru, la opriri și funcționare continuă, volumul are aproximativ aceleași limite de variație.

Poziția maximă atinsă de piston în timpul mișcării și implicit volumul incintei de lucru are aproximativ aceleași limite de variație. Variația volumului scade la opriri de 1.04 ori, adică foarte puțin. Lucrurile sunt evidente din acest punct de vedere, spațiul parcurs de pistonul de lucru fiind același, aceeași variație de volum al gazului va fi obținută, doar că în primul caz al funcționării continue, acest spațiu va fi parcurs cu viteză a cărei lege de variație este armonică, (corespunzătoare primei derivate a legii de mișcare, de forma aproximativ sinusoidală), iar în cazul funcționării cu opriri controlate, viteza are variații rapide pe perioadele timpilor tranzitionali, și aproximativ cu viteza zero în perioada staționării. O altă discuție interesantă, se poate face referitor la lucrul mecanic dezvoltat, în comparație în timpul funcționării cu opriri și în timpul funcționării continue, deși variația volumului este aproximativ aceeași, iar media variațiilor presiunilor aferente efectuării lucrului mecanic, fiind aproximativ aceeași. Deși la o primă aproximație, lucrul mecanic aferent celor două tipuri de funcționare este același, totuși forțele de rezistență și frecare de tip neconservativ, vor face ca lucrul mecanic în cazul opririlor controlate, să fie cu atât mai mare cu cât viteza de tranzit va fi mai mare, în acest sens indicăm, rezultatul calculului numeric de mai jos, cu privire la lucrul mecanic efectuat în cazul funcționării discontinue, comparativ cu cel aferent funcționării continue, dar și lucrarea de specialitate [15].

În continuare, pentru ambele tipuri de funcționari ale motorului termic, vom trece la calculul caldurii absorbite și a lucrului mecanic total, care a fost făcut cu ajutorul tabelelor de calcul, în care așa cum am specificat, s-a intervenit prin observație directă a graficelor, doar pentru stabilirea zonelor temporale unde se încheie un ciclu de funcționare și se reia altul. Formulele și algoritmul de calcul, a fost prezentat anterior, iar în continuare vom prezenta doar rezultatul calculelor cumulative mediate.

d.

Caldura absorbită, în timpul funcționării continue este pentru 4 cicluri de funcționare, în medie următoarea:

$$Q_{tot\ abs} = \frac{Q_{1\ abs} + Q_{2\ abs} + Q_{3\ abs} + Q_{4\ abs}}{4} = \frac{22.67\text{ J} + 22.64\text{ J} + 23.24\text{ J} + 22.69\text{ J}}{4} = 22.81\text{ J} \quad (16)$$

Situația grafică este următoarea:

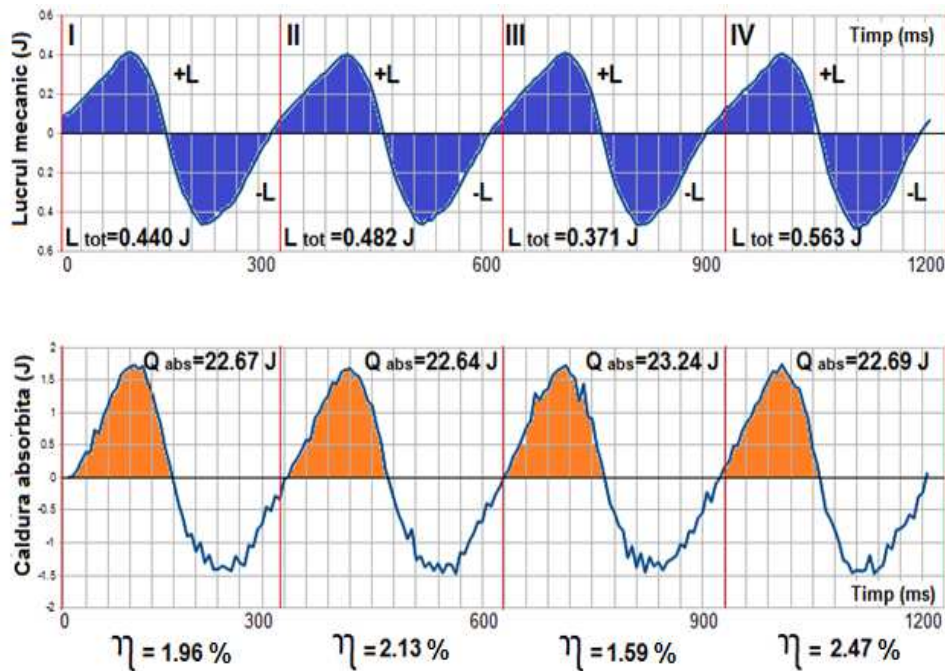


Figura 4.18 Analiza cantitativă a raportului dintre lucrul mecanic total și caldura absorbită de către gazul de lucru în timpul funcționării continue, pentru 4 cicluri de funcționare

Lucrul mecanic total absorbit, la funcționarea continuă, este:

$$L_{tot} = \frac{L_{1_{abs}} + L_{2_{abs}} + L_{3_{abs}} + L_{4_{abs}}}{4} = \frac{0.440J + 0.482J + 0.371J + 0.563J}{4} = 0.4665 \text{ J} \quad (17)$$

Iar randamentul calculat pentru funcționarea continuă, este:

$$\eta = \frac{L_{tot}}{Q_{tot_{abs}}} \times 100 = 2.04 \text{ \%} \quad (18)$$

e.

Caldura absorbită, în timpul funcționării cu opriri controlate este pentru 4 cicluri de funcționare, în medie următoarea:

$$Q_{tot_{abs}} = \frac{Q_{1_{abs}} + Q_{2_{abs}} + Q_{3_{abs}} + Q_{4_{abs}}}{4} = \frac{19.15J + 19.61J + 19.53J + 19.77J}{4} = 19.515 \text{ J} \quad (19)$$

Situația grafică este următoarea:

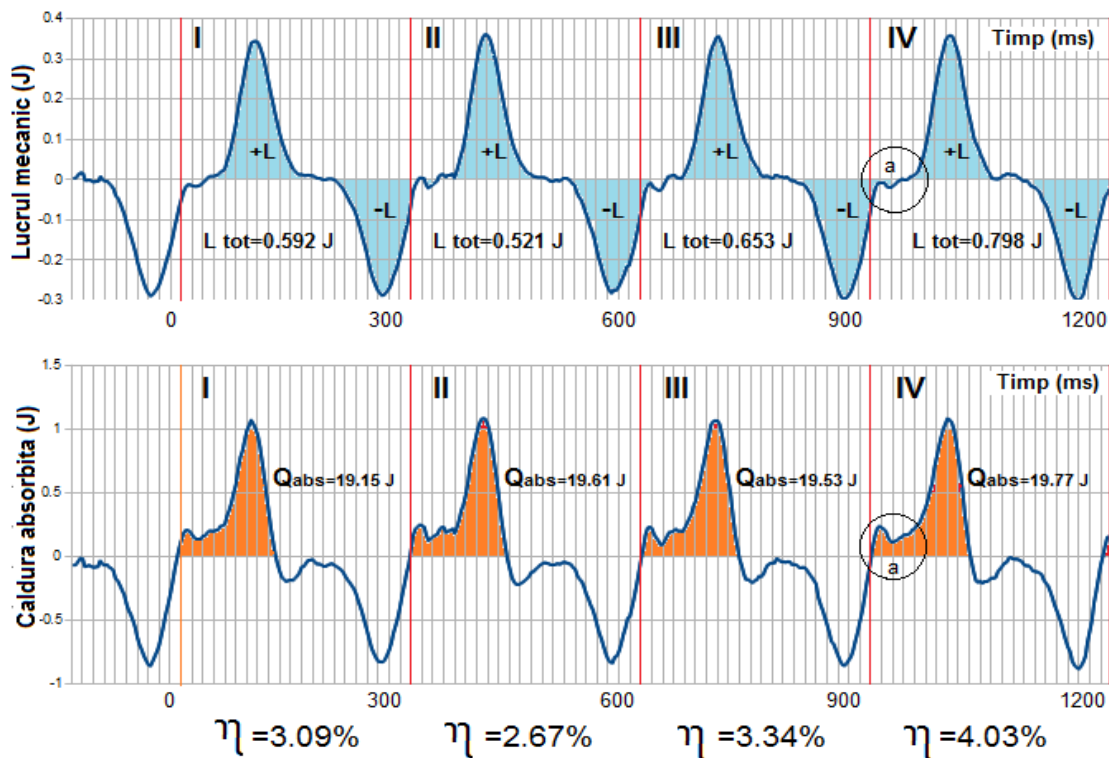


Figura 4.19 Analiza cantitativă a raportului dintre lucrul mecanic total și caldura absorbită de către gazul de lucru în timpul funcționării cu opriri controlate, pentru 4 cicluri de funcționare

Lucrul mecanic total absorbit, în perioada funcționării cu opriri controlate, este:

$$L_{tot} = \frac{L_{1_{abs}} + L_{2_{abs}} + L_{3_{abs}} + L_{4_{abs}}}{4} = \frac{0.592J + 0.521J + 0.653J + 0.798J}{4} = 0.641 J \quad (20)$$

Iar randamentul a fost calculat având valoarea de:

$$\eta = \frac{L_{tot}}{Q_{tot_{abs}}} \times 100 = 3.3 \% \quad (21)$$

În concluzie, fără a putea face o etrapolare lineară, randamentul crește într-o primă formă de 1.61 ori. (Crește cu aproape două treimi).

4.5 Concluzii ale modelării matematice analitice și numerice ale fenomenelor mecanice și termodinamice.

În acest capitol am tratat pe rând, luate separat problemele legate de fenomenele mecanice ale producerii oscilațiilor mecanice:

- În primul rând am analizat oscilatorul armonic simplu, relevând tratarea clasică a problemei, sistematizând noțiunile ce au fost folosite în dezvoltarea ulterioară.
- Cazul dublului oscilator armonic, cu oscilatori cuplați, a fost tratat în cazul ideal, la care am prezentat o metodă de dezvoltare inedită și gândită pentru a fi aplicată în pasul următor.
- Cazul sistemului oscilator, corp-resort, plasat în câmp magnetic neliniar, a fost analizat, unde am scos în evidență oprirea oscilatorului prin intrarea în neliniaritate profundă, dependentă de factorul perturbator ce porneste oscilatorul. Modelul matematic dezvoltat aici a fost gândit special pentru rezolvarea mai amplă a următorului model complex.
- Producerea opririlor controlate în dublul oscilator elastic, aflat în câmp magnetic neuniform și neliniar, care este o sinteză complexă a celor trei modele de mai sus, în care am demonstrat atât legea de mișcare a celor doi oscilatori, ca soluție analitică a problemei, dar și o rezolvare inedită a unui sistem de două ecuații diferențiale neliniare cuplate, care descriu funcționarea sistemului nostru în cazul ideal.
- Au fost relevate condițiile de producere, mentinere și factori care pot perturba oscilațiile discontinue, cu opriri controlate.

- A fost deasemeni studiată interacțiunea sistemului mecanic dublu oscilator, în câmp magnetic, pe cale numerică, un tip special și interactiv de tabel de calcul a fost conceput special pentru aceasta. A fost efectuată o simulare cu 80000 de linii în programul X-Calc, simulându-se comportarea din mai multe puncte de vedere a acestor interacțiuni neliniare și nestationare, relevându-se grafice și analize.
- Au fost deasemeni tratate tot separat, în mod disimulat, problemele termodinamice ale acestui motor, relevându-se câteva metode numerice și de calcul cu element finit, de extragere a informațiilor concludente din sirurile de date numerice achiziționate în calculator.
- Căldurile absorbite de gaz și lucrul mecanic total absorbit de gaz, a fost calculat, relevându-se un mic studiu numeric cu privire la randamentul mașinii studiate, în cele două ipostaze funcționale.

În legătura cu fenomenul principal studiat, acela al opririlor controlate, mai menționăm următoarele:

- Fenomenul studiat numit, opriri controlate, se datorează compozițiilor de oscilații ce respectă funcțiile sinus eliptic și trigonometric, ce se petrec în sens aditiv și substractiv.
- Timpul de oprire al oscilatorului principal depinde de constantele fizice ale sistemului și mai ales de diferența de pulsații proprii dintre sistemul principal și cel secundar.
- Cele două subsisteme, produc prin interacțiunea lor un fenomen de intrare în așteptare pentru oscilatorul principal și de egalizare a frecvențelor de oscilație, în sensul că cei doi oscilatori se vor sincroniza în frecvență și fază producând un efect cumulat.
- Din punct de vedere mecanic se produce un transfer controlat de impuls, astfel încât se pot obține opriri controlate prin transfer de impuls mecanic, cu conservarea energiei în al doilea sistem oscilant.

CAPITOLUL 5.

STUDIUL FENOMENELOR CUMULATE, MECANIC ȘI TERMODINAMIC, CE INTERVIN ÎN FUNCȚIONAREA MOTORULUI CU AER CALD CU OPRIRI CONTROLATE. IMPLICAȚII MECANICE ȘI TERMODINAMICE.

5.1 Timpii de tranzit și timpul de oprire. Posibilități de control al timpului de tranzit și al timpului de oprire, prin modificarea constantelor fizice ale sistemului

Am demonstrat în calculul analitic al dublului oscilator aflat în câmp magnetic neliniar, prezentat în subcapitolul 4.2, unde se vede că există trei componente individuale oscilatorii care interacționează, două oscilații prin sinus trigonometric și una prin sinus Jacobian.

Așa cum s-a văzut cele două oscilații prin sinus trigonometric trebuie să fie egale, acest lucru însemnând că cele două pulsații proprii trebuie să coincidă, iar a treia oscilație prin sinus eliptic își sincronizează frecvența prin intrare mai profundă sau mai superficială în zona extremă neliniară, autocontrolându-și poziția inițială de la care se începe o nouă oscilație:

Cele trei pulsații proprii ale oscilațiilor sunt: ω_1 , ω_2 și componenta: $\frac{\zeta_3}{\sqrt{x_{01}}}$ numită argumentul

timp al funcției Sinus Eliptic Jacobi, care prin intermediul termenului x_{01} , se sincronizează în frecvență cele două oscilații de pulsații date, sunt evidențiate în expresia legilor analitice de mișcare a dublului oscilator, aflat în câmp magnetic neliniar, după cum urmează:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1(t) = \underbrace{-q x_{01} \sin(\omega_1 t + \varphi)}_{\text{Componenta oscilatorie trigonometrică } \omega_1} + \underbrace{(n+1)x_{01} \operatorname{sn} \left[\frac{\zeta_3}{\sqrt{x_{01}}} t, \frac{\zeta_4}{\sqrt{2x_{01}^2 - 1}} \right]}_{\text{Componenta oscilatorie eliptică } \frac{\zeta_3}{\sqrt{x_{01}}}} + \underbrace{\frac{q + \sqrt{q^2 + 4}}{2} x_{02} \sin(\omega_2 t + \varphi)}_{\text{Componenta oscilatorie trigonometrică } \omega_2} \\ \\ X_2(t) = \underbrace{x_{01} \operatorname{sn} \left[\frac{\zeta_3}{\sqrt{x_{01}}} t, \frac{\zeta_4}{\sqrt{2x_{01}^2 - 1}} \right]}_{\text{Componenta oscilatorie eliptică } \frac{\zeta_3}{\sqrt{x_{01}}}} - \underbrace{x_{02} \sin(\omega_2 t + \varphi)}_{\text{Componenta oscilatorie trigonometrică } \omega_2} \end{array} \right. \quad (22)$$

Relațiile definitorii ale celor două pulsații proprii, fiind următoarele:

$$\omega_{1/2}^2 = -\frac{k_2}{m_{1/2}} \frac{\pm \sqrt{(p)^2 + 4} - (p) - 2}{2} \Leftrightarrow \omega_{1/2}^2 = -\frac{k_2}{m_{1/2}} \frac{\pm \sqrt{\left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 + 4} - \left(\frac{k_1}{k_2}\right) - 2}{2} \quad (23)$$

Unde am ținut cont de relația de definiție a parametrului de forma:

$$q = \frac{k_1}{k_2} = 1 \quad (24)$$

Într-o perioadă completă de oscilație cu opriri controlate, există doi timpi de oprire și patru timpi de tranziție, așa cum se vede în figura de mai jos.

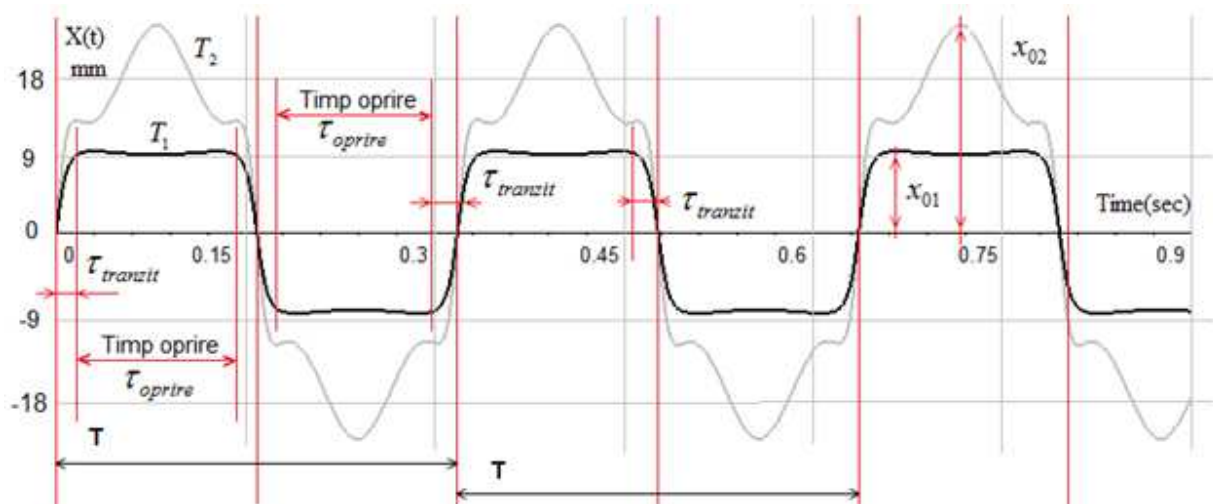


Figura 5.1 Perioada și frecvența oscilatorului principal și secundar. Timpul de oprire și timpul de tranziție, reprezentare grafică.

Timpul de oprire se poate calcula, dacă se cunoaște frecvența oscilațiilor și timpii de tranziție în care oscilatorul se deplasează foarte rapid, forma acestei expresii este următoarea:

$$\tau_{oprire} = \frac{T}{2} - 2 \tau_{tranzit} \quad (25)$$

Sau ținând cont de ambele opriri, egale ca timp, putem scrie:

$$\tau_{oprire\ sus} + \tau_{oprire\ jos} = T - 4 \tau_{tranzit} \quad (26)$$

În acest punct al calculului nostru putem exprima o relație între pulsațiile proprii ale sistemului dublu oscilator, și timpii de oprire respectiv timpii de tranziție, de forma următoare:

$$\tau_{oprire} = \frac{T}{2} - 2 \tau_{tranzit} = \frac{\pi}{\omega} - \frac{2x_{01}}{\sqrt{\frac{1}{2m_1} \left[\frac{k_3}{\varepsilon - x_{01}} - \frac{k_1 x_{01}^2}{2} \right]}} \quad (27)$$

Sau ținând cont de ambele opriri egale ca timp, putem scrie în funcție de constantele sistemului:

$$\tau_{oprire \text{ sus}} + \tau_{oprire \text{ jos}} = \frac{2\pi}{\omega} - \frac{4x_{01}}{\sqrt{\frac{1}{2m_1} \left[\frac{k_3}{\varepsilon - x_{01}} - \frac{k_1 x_{01}^2}{2} \right]}} \quad (28)$$

Ca un exemplu imediat al ideilor de mai sus, am simulat, distribuția timpilor de tranzit și a timpilor de oprire, în cadrul unei singure perioade, pentru un reglaj al tariei componentei magnetice, așa cum se va vedea în exemplul de mai jos:

$$\text{Valori Experimentale} = \begin{cases} x_{01}=9.92 \text{ mm} \\ \varepsilon=10 \text{ mm} \\ m_1=100 \text{ g} \\ m_2=700 \text{ g} \\ k_1=1 \text{ mN/mm} \\ k_2=1 \text{ mN/mm} \\ k_3=0.05 \text{ mN/mm} \end{cases} \quad (29)$$

Pentru timpul de tranzit din exemplul luat în calcul, obținem valoarea:

$$\tau_{tranzit} = \frac{x_{01}}{\text{tg}(\varphi)} = \frac{x_{01}}{V_{mediu}} = \frac{992 \cdot 10^{-5}}{3.542} = 280 \cdot 10^{-5} \text{ sec} = 2800 \mu\text{s} \quad (30)$$

Timpul de oprire, important din punct de vedere practic, va fi în acest caz:

$$\tau_{oprire} = \frac{T}{2} - 2 \cdot \tau_{tranzit} = \frac{0.310}{2} - 2 \cdot 2800 \cdot 10^{-6} = 155000 \cdot 10^{-6} - 5600 \cdot 10^{-6} = 0.149400 \text{ ms} \quad (31)$$

Pentru acest caz particular, vom exprima în procente ponderea timpilor de oprire și a timpilor de tranzit în timpul total, pentru o perioadă de oscilație.

$$T = 2 \cdot \tau_{oprire} + 4 \cdot \tau_{tranzit} \Leftrightarrow 0.310 \text{ sec} = 0.298800 \text{ sec} + 0.011200 \text{ sec} \quad (32)$$

Adică exprimând în procente:

$$T = \frac{0.310}{0.00310} = \frac{0.298800}{0.00310} + \frac{0.011200}{0.00310} \quad (33)$$

Sau mai simplu:

$$(T_{total} \text{ } 100 \%) = (\tau_{oprire} \approx 96.38 \%) + (\tau_{tranzit} \approx 3.62 \%) \quad (34)$$

Spre exemplificare, vom prezenta și un grafic obținut experimental, unde am evidențiat înclinatia pantei creșterii variației poziției, în perioada timpului de tranzit, și am calculat cei doi timpi semnificativi cu ajutorul unor măsuratori geometrice, de forma următoare:

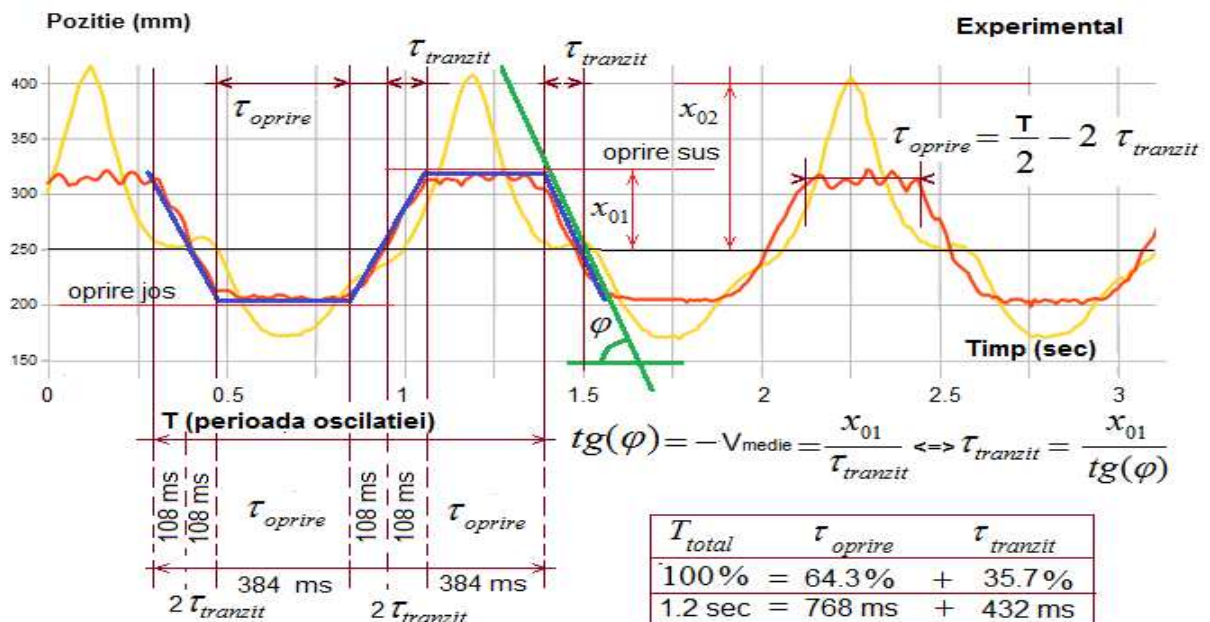


Figura 5.2 Prezentarea grafica a modalității de calcul a timpului de tranzit, pentru determinările experimentale

5.2 Influența timpilor de oprire și de tranzit în eficiența proceselor termodinamice ce determină randamentul.

Ținând cont de cele discutate până acum, au influență directă asupra procesului termodinamic, următoarele relații:

- Pulsajia proprie a sistemului dublu oscilator, în care am eliminat toate variabilele intermediare. Menționăm că pulsația oscilației are influența nemijlocită în timpul de desfășurare al fenomenelor termodinamice.

$$\omega = \sqrt{\frac{k_2}{m_2} \frac{\pm \sqrt{\left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 + 4} - \frac{k_1}{k_2} - 2}{2}} \quad (35)$$

- Timpii de tranzit, 4 pe ciclu complet de funcționare, acești timpuri de tranzit între cele două stări staționare, calculabili pe baza unor considerente energetice, se dorește să fie minimizați, ei fiind de forma:

$$\tau_{\text{tranzit}} = \frac{x_{01}}{\sqrt{\frac{1}{2m_1} \left[\frac{k_3}{\varepsilon - x_{01}} - \frac{k_1 x_{01}^2}{2} \right]}} \quad (36)$$

- Timpii de oprire, 2 pe ciclu complet de funcționare, cu rol deosebit în transferul de căldură la volum constant, cu mare eficiență energetică, calculabili din constantele independente ale sistemului, acești timpuri de oprire se dorește să fie maximizați, ei sunt de forma:

$$\tau_{\text{oprire}} = \frac{\pi}{\omega} - \frac{2x_{01}}{\sqrt{\frac{1}{2m_1} \left[\frac{k_3}{\varepsilon - x_{01}} - \frac{k_1 x_{01}^2}{2} \right]}} \quad (37)$$

În cele ce urmează vom postula o primă formulă a eficienței ce exploatează posibilitatea acestui motor de a face transfer energetic în formă discontinuă și tranzitorie sub forma unei sume ponderate.

$$\eta_{ciclu\ motor} = \left[2 \cdot \tau_{oprire} \frac{L_{total\ efectuat}}{Q_{abs.\ izocor}} + 4 \cdot \tau_{tranzit} \frac{L_{total\ efectuat}}{Q_{abs.\ izobar}} \right] \cdot \frac{100}{T} \quad (38)$$

Relatie care poate fi exprimată prin variabile independente ale sistemului termo-mecanic, astfel:

$$\eta_{ciclu\ motor} = \left\{ \left[\frac{\overbrace{2\pi}^{\text{Pondere a timpului de oprire}}}{\omega} \cdot \frac{2 \cdot x_{01}}{\sqrt{\frac{1}{2m_1} \left[\frac{k_3}{\varepsilon - x_{01}} - \frac{k_1 x_{01}^2}{2} \right]}} \cdot \frac{L_{total\ efectuat}}{Q_{abs.\ izocor}} \right] + \left[\frac{\overbrace{4 \cdot x_{01}}^{\text{Pondere a timpului de tranzit}}}{\sqrt{\frac{1}{2m_1} \left[\frac{k_3}{\varepsilon - x_{01}} - \frac{k_1 x_{01}^2}{2} \right]}} \cdot \frac{L_{total\ efectuat}}{Q_{abs.\ izobar}} \right] \right\} \cdot \frac{100}{T} \quad (39)$$

Obținând prin aplicarea ponderii timpilor mai sus descriși, pentru datele termodinamice experimentale descrise în capitolele anterioare, randamentul la funcționarea cu opriri controlate, ca o sumă ponderată, după cum urmează:

$$\eta_{ciclu\ motor} = \left[2 \cdot 0.384 \cdot \frac{0.553}{16.52} + 4 \cdot 0.108 \cdot \frac{0.553}{22.81} \right] \cdot \frac{100}{1.2} = 0.036 \cdot 83.33 = 3.004 \% \quad (40)$$

5.3 Studiu privind posibilitatea de optimizare a funcționării motorului cu aer cald, cu opriri controlate, prin controlul proceselor mecanice și termodinamice folosind funcții optime.

Avem în vedere că transferul termic în camerele inferioară și superioară ale motorului cu aer cald, se efectuează în cea mai mare parte prin convecție, care are pondere mai mare decât celelalte două fenomene asociate transferului termic (radiația și conducția), astfel încât vom asocia din punct de vedere funcțional, următoarele fenomene:

- În timpul opririlor controlate, transferul termic se va face prin convecție liberă transfer termic dat de legea Newton:

$$Q_{conv\ libera} = \alpha \left(T_s^{(k)} - T_F^{(k)} \right) S \tau \quad (41)$$

Unde:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\alpha] = \frac{W}{m^2 K} \text{ este coeficient de transmitere al caldurii prin convecție} \\ Q = \text{caldura totală transferată prin convecție} \\ A = \text{este suprafața de separație solid - fluid} \\ \tau = \text{intervalul de timp în care se face transferul termic} \\ (T_s^{(k)} - T_F^{(k)}) = \text{diferența de temperatură solid - fluid, măsurat în kelvini} \end{array} \right. \quad (42)$$

- În timpul tranzitului din partea inferioară în cea superioară, transferul termic se face prin convecție forțată, unde transferul termic îl vom calcula ținând cont de vâscozitatea fluidului de lucru și de viteza acestuia, față de partile fixe ale surselor termice, și anume:

$$Q_{conv \text{ forțată}} = \alpha_f (T_s^{(k)} - T_F^{(k)}) S \tau \quad (43)$$

Relația de mai sus, poate fi folosită și pentru convecție forțată, cu aproximație bună, dacă ținem cont de coeficienții de transfer termic următorii:

Din literatura de specialitate [16], se cunosc următoarele valori:

- Convecție forțată cu viteza mică, aer pe suprafețe plane $\alpha_f = 0 \dots 10 \text{ (W/m}^2\text{K)}$
- Convecție forțată cu viteza mică, aer pe suprafețe plane $\alpha_f = 10 \dots 100 \text{ (W/m}^2\text{K)}$
- Convecție forțată cu viteza mare, aer pe suprafețe plane $\alpha_f > 100 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

În cazul în care se dorește o estimare mai riguroasă, va trebui folosit conceptul de criterii ale similitudinii.

Exprimând sub formă concisă:

- Ponderea timpilor aferenți fenomenelor mecanice, ce caracterizează oscilațiile cu opriri controlate, și anume pe o perioadă exprimăm ponderea timpului de oprire, și ponderea timpului de tranzit, în funcție de marimile independente definite anterior, independent de perioada reală a desfășurării fenomenelor termice și mecanice intercorelate.

Ponderea astfel definită, $Pnd(\tau) \in \{0..1\}$, este un număr subunitar care ne va arăta în decursul unei perioade cât anume dintr-o perioadă, fenomenele termodinamice vor fi influențate de lungimea intervalului de oprire sau de rapiditatea trecerii între cele două stări staționare. O astfel de pondere implicată în procese distribuite a fost folosită și în lucrarea [17].

Vom avea relația de definiție sintetizată din marimi definite anterior:

$$Pnd(\tau_{\text{tranzit}}) = \frac{4 \cdot \tau_{\text{tranzit}}}{T} = \frac{4 \cdot \tau_{\text{tranzit}}}{\frac{2\pi}{\omega}} = \frac{2 \cdot \omega \cdot \tau_{\text{tranzit}}}{\pi} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{x_{01} \sqrt{\frac{\pm \sqrt{\left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 + 4 - \frac{k_1}{k_2} - 2}}{m_2}}}{\sqrt{\frac{1}{2m_1} \left[\frac{k_3}{\varepsilon - x_{01}} - \frac{k_1 x_{01}^2}{2} \right]}} \quad (44)$$

Relatie care ne da strict, ponderea în cadrul unei oscilații compete a timpului de tranzit ca o fracțiune de perioada întreaga.

Fracțiunea timpului de oprire o calculăm din diferența unitară, cu relația:

$$Pnd(\tau_{\text{oprire}}) = 1 - P_{\text{ondere}}(\tau_{\text{tranzit}}) \quad (45)$$

Ca verificare și aplicație imediată a celor două formule definite mai sus, observăm ca:

- Pentru valorile aplicative, avem:

$$Pnd(\tau_{\text{tranzit}}) = \frac{4 \cdot \tau_{\text{tranzit}}}{T} = \frac{4 \cdot 0.002800ms}{0.310ms} = 0.036 \quad (46)$$

Iar pentru timpul de oprire avem:

$$Pnd(\tau_{\text{oprire}}) = 1 - 0.036 = 0.963 \quad (47)$$

- Pentru valorile obținute pe cale experimentală, avem pe baza marurilor grafice:

$$Pnd(\tau_{\text{tranzit}}) = \frac{4 \cdot \tau_{\text{tranzit}}}{T} = \frac{4 \cdot 0.108ms}{1200ms} = 0.36 \quad (48)$$

Iar pentru timpul de oprire avem:

$$Pnd(\tau_{\text{oprire}}) = 1 - 0.36 = 0.64 \quad (49)$$

Obținem astfel, o nouă relație semnificativă, care leagă între ele:

- Perioada și implicit frecvența de oscilație a motorului cu opriri controlate, a cărei formulă de definiție, sintetizată din constantele sistemului, a fost definită anterior,
- Temperatura surselor rece și caldă, ca și constante ale sistemului termodinamic, cele două temperaturi fiind considerate constante (Sursele rece și caldă se consideră a fi termostate ideale).

De unde putem găsi o relație fenomenologică, ce descrie fenomene fizice corelate dar fără legătură fizică demonstrată până acum, de forma următoare:

$$\frac{T}{2} = \underbrace{\frac{vC_V \left(T_{\text{interm}}^{(k)} - T_{\text{Sursa Rece}}^{(k)} \right)}{\alpha \cdot \left(T_{\text{Sursa Calda}}^{(k)} - T_{\text{interm}}^{(k)} \right) \cdot S} \cdot Pnd \left(\tau_{\text{oprire}} \right)}_{\tau_{\text{oprire}}} + 2 \cdot \underbrace{\frac{vC_P \left(T_{\text{interm}}^{(k)} - T_{\text{Sursa Rece}}^{(k)} \right)}{\alpha_f \cdot \left(T_{\text{Sursa Calda}}^{(k)} - T_{\text{interm}}^{(k)} \right) \cdot S} \cdot Pnd \left(\tau_{\text{tranzit}} \right)}_{2 \cdot \tau_{\text{tranzit}}} \quad (50)$$

Adică mai concis:

$$T \left(T^{(k)} \right) = 2 \cdot \left[\frac{vC_V \left(T_{\text{interm}}^{(k)} - T_{\text{Sursa Rece}}^{(k)} \right)}{\alpha \cdot \left(T_{\text{Sursa Calda}}^{(k)} - T_{\text{interm}}^{(k)} \right) \cdot S} \cdot Pnd \left(\tau_{\text{oprire}} \right) + 2 \cdot \frac{vC_P \left(T_{\text{interm}}^{(k)} - T_{\text{Sursa Rece}}^{(k)} \right)}{\alpha_f \cdot \left(T_{\text{Sursa Calda}}^{(k)} - T_{\text{interm}}^{(k)} \right) \cdot S} \cdot Pnd \left(\tau_{\text{tranzit}} \right) \right] \quad (51)$$

Înlocuind toate constantele numerice și valorile tuturor parametrilor implicați în desfășurarea proceselor termodinamice, ținând apoi cont de modelul simplificativ, în care temperatura intermediară a fost considerată la mijlocul intervalului dintre cele două temperaturi ale celor două surse termice, în plus ținând constantă temperatura sursei reci și considerând doar variația temperaturii sursei calde, vom obține variația perioadei totale de oscilație, ca funcție de temperatura sursei calde, astfel:

$$T \left(T^{(k)} \right) = \underbrace{\frac{0.6276}{\left(T_{\text{Calda}}^{(k)} - 318.15 \right)}}_{\text{Termen aferent convecției libere}} \cdot Pnd \left(\tau_{\text{oprire}} \right) + \underbrace{\frac{0.249}{\left(T_{\text{Calda}}^{(k)} - 318.15 \right)}}_{\text{Termen aferent convecției forțate}} \cdot Pnd \left(\tau_{\text{tranzit}} \right) \quad (52)$$

Observație:

- În calculele de mai sus, în funcție de ponderea timpilor de transfer, se vede că există o diferență semnificativă a contribuției în influența pe care temperatura o are în timpul total de transfer, cu atât mai mult cu cât aceste ponderi devin mai apropiate de valoare.
- Ponderea celor doi timpi semnificativi, este direct influențată de viteza de deplasare a oscilatorului principal între stările tranzitionale, iar acest lucru poate fi reglat direct din intensitatea câmpului magnetic, sau din reglaje, independent de frecvența de oscilație așa cum am arătat mai sus.

În graficul optimal de mai jos, am exprimat prin simularea formulei de mai sus, perioada de oscilație, care ar fi optimă pentru constantele experimentale luate în calcul, în modelul experimental folosit ca și prototip, dar aferente ponderilor timpilor aferenți modelului experimental.

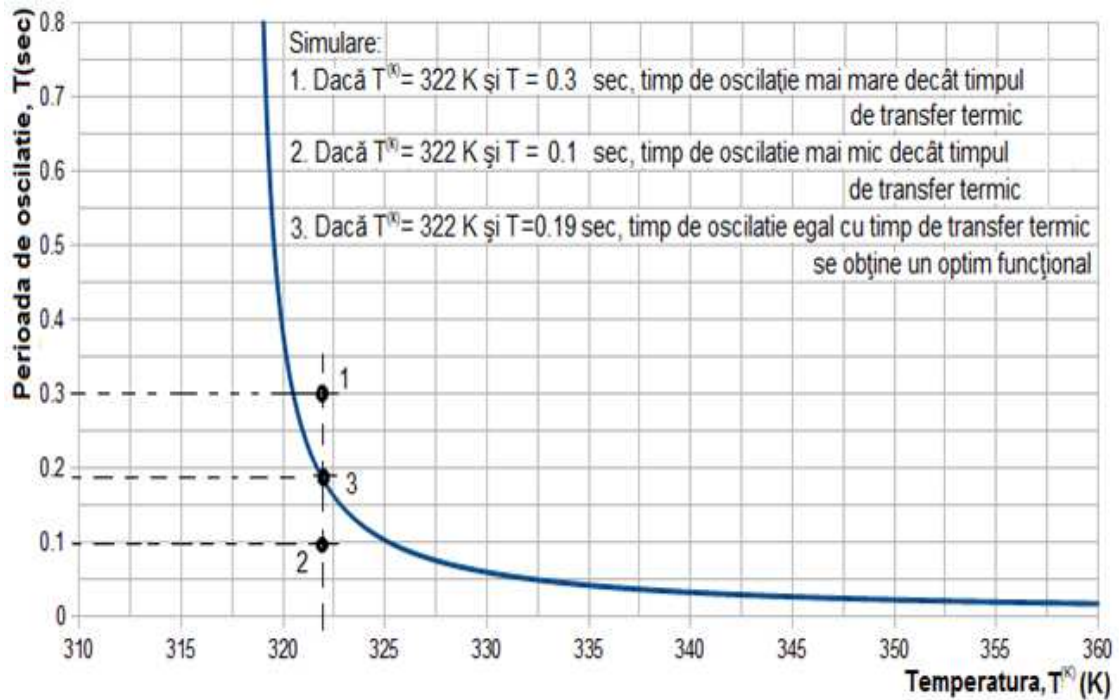


Figura 5.3 Curbă de acord optimal, a variației celor două fenomene independente. Timpul oscilației mecanice și timpul de transfer termic.

5.4 Perspective de implementare tehnologică, a curbei de funcționare optimală, și autocontrolul procesului complex din motor. Posibilitatea transformării energiei mecanice în energie electrică.

a.

Modificarea perioadei de oscilație, poate fi făcută dinamic, în timpul funcționării, prin utilizarea unorresoarte bimetalice lamelare, cu proprietati elastice sensibile la diferenta de temperatura. Lamele bimetalice pot avea coeficienti de torsionare pozitivi sau negativi, în funcție de tipul de aplicatie aleasă, utilizarea acestor dispozitive termo-mecanice este foarte raspandită, o lucrare stiintifica în acest sens fiind [18].

O schita reprezentativă fost realizată în figura urmatoare, urmand ca în implementarea functiei de control optimal sa poata fi facuta din aproape în aproape prin reglajele statice ale deformatiilor lamelelor bimetalice. Schita propusă este urmatoarea:

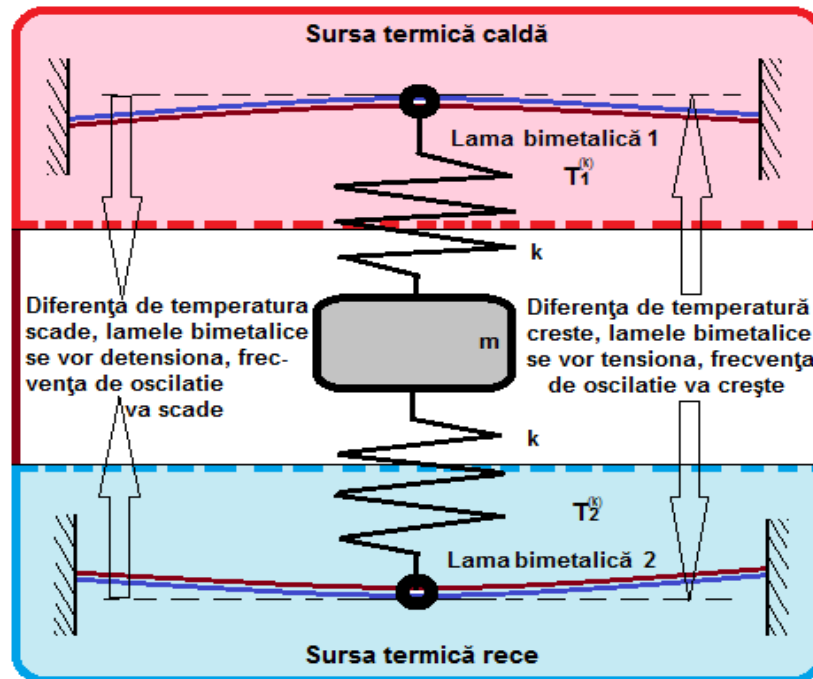


Figura 5.4 Concept de dispozitiv mecanic prin care se poate implementa formula de optimizare descrisă în formula 410.

În care observăm următoarele:

- Lame bimetalice cu coeficienți de dilatare diferiți, aflate în incinta sursei termice calde, aflate la temperatura ridicată, care se va tensiona în sus la creșterea temperaturii sursei calde, modificând punctul de prindere al resortului ce produce forța elastică.
- Lame bimetalice cu coeficienți de dilatare diferiți, aflate în incinta sursei reci, aflate la temperatura scăzută, care se va tensiona în jos la scăderea temperaturii sursei reci modificând punctul de prindere al resortului ce produce forța elastică.
- În funcție de diferența de temperatură dintre sursele termice, suporturile celor două resorturi se vor tensiona suplimentar modificând constanta de timp a oscilatorului.

b.

Posibilitatea de transformare a energiei mecanice în energie electrică cu ajutorul alternatorului linear. Soluție practică.

Ca parte aplicativă finală, venind în sprijinul ideii amintite la începutul lucrării, precum ca toate tipurile de motoare funcționând pe principiul oscilatorului linear, nu pot transforma în mod natural mișcarea obținută în mișcare de rotație (de exemplu pentru sistemul de tracțiune al unui automobil), prezentăm în cele ce urmează, în mod succint o modalitate clasică de extragere a energiei mecanice, ce se pretează unui astfel de motor oscilator. Soluția constructivă descrisă mai jos, funcționează pe principiul alternatorului linear, intens folosită în astfel de situații, amintind aici lucrarea [19], în care sisteme de recuperare a energiei prin alternarea unidirecțională a unui câmp magnetic producând flux magnetic variabil, induce într-o bobină sau

set de bobine, o tensiune electromagnetică, dependentă de intensitatea câmpului magnetic, de viteza de variație a fluxului, etc. Alternatorul linear în cazul nostru dedicat, implementabil în situația topologică dată de forma fizică a motorului, are forma următoare :

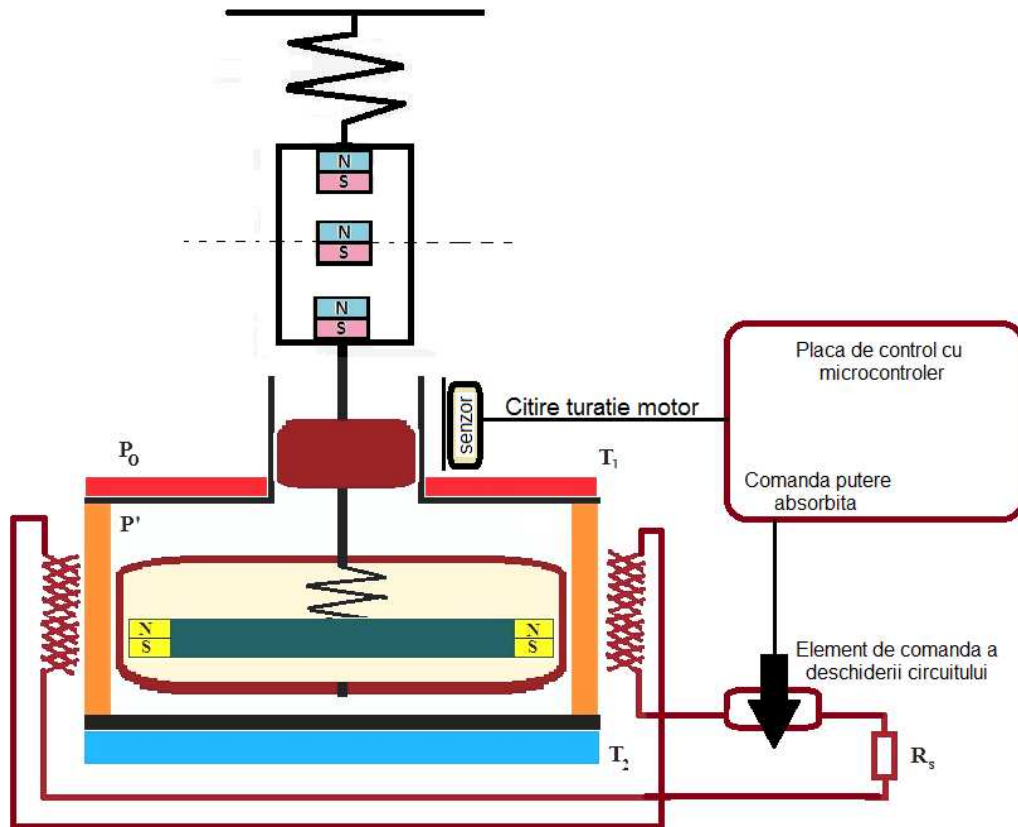


Figura 5.5 Recuperarea energiei electrice cu alternator linear din energia mecanică a oscilatorului motorului cu aer cald.

În care se pot observa:

- Structura cunoscută a motorului cu aer cald cu opriri controlate.
- Adicional au fost introduse în oscilatorul secundar, o pereche de magneti permanenți de tip disc, pentru producerea câmpului magnetic variabil, observând că, a fost ales acest loc de implementare al câmpului magnetic variabil, deoarece acest al doilea oscilator are amplitudine mai mare, și există intervale de timp sau poziție când acesta face mișcări foarte rapide, acest lucru traducându-se în variații mari ale variației fluxului magnetic.
- Bobine cilindrice cu întrefier magnetic, care sunt distribuite pe întreaga suprafață izolatoare termică, prezentă între cele două surse calde, bobinele fiind fixe și având un factor de calitate considerabil.
- Adicional, este necesar un bloc de comandă al puterii mecanice momentare absorbite din motor, astfel încât mișcarea acestuia să nu fie oprită de un lucru mecanic extras mai mare decât cel produs pe ciclul de funcționare.

5.5 Concluzii ale implicațiilor mecanice și termodinamice ale opririlor controlate.

În acest capitol, s-a avut în vedere, tratarea unitară a fenomenelor mecanice și termodinamice, care în capitolul precedent pentru simplitate și claritate au fost tratate separat. Au fost tratate pe rând:

- Găsirea unei relații corelative între constantele fizice ale sistemului mecanic (masele corpurilor, constantele elastice ale resorturilor, constante magnetice și poziții initiale), și perioada oscilației mecanice, pe ansamblu, ținându-se cont de legea matematică complexă de mișcare găsită și prezentată în capitolul 4. Am stabilit că această perioadă depinde de două componente independente și una neliniară dependentă de celelalte două.
- S-a definit apoi o relație de intervariantă, între timpul de tranzit și timpul de oprire, pentru o perioadă completă de oscilații, în cazul funcționării cu opriri controlate. Relația evidențiată, a fost demonstrată pe principiile fizice aplicabile forțelor concurente, stabilind în ce condiții ale variației parametrilor fizici ai sistemului, cei doi timpi își pot schimba ponderea temporală în cadrul unei perioade de oscilație.
- S-a asociat fiecărui timp de funcționare al motorului, un tip reprezentativ de transfer termic, corespunzător fenomenelor fizice asociate, și s-a demonstrat o relație privind cantitatea de căldură transferată, corespunzător cu ponderea aferentă timpului, într-o perioadă completă pentru găsirea unei formule privind eficiența energetică.
- Cu ajutorul asocierilor mai sus amintite, s-a demonstrat o formulă de calcul optimal, relevându-se pe câteva situații particulare grafice ale funcțiilor biunivoce de corespondență fenomenologică, între perioada oscilațiilor mecanice și diferența de temperatură dintre sursele rece și caldă.
- S-a prezentat mai apoi un mod practic de implementare al curbei optimale, și s-a explicat și modul de transformare al energiei mecanice în energie electrică.

CAPITOLUL 6.

CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PERSPECTIVELE CERCETĂRII.

6.1 Prezentarea concluziei interpretării calculelor comparative ale eficienței energetice ale motorului studiat în diferite regimuri de funcționare. Rezultate care atestă creșterea eficienței energetice, pentru gradienti mici de temperatură, cu ajutorul opririlor controlate.

Având în vedere cele spuse până acum putem structura câteva idei generale, care susțin ideea utilității studiului teoretic, numeric și experimental expus în prezenta lucrare.

a.

Din punctul de vedere al funcționării mecanice, se pot structura următoarele modificări funcționale, ale motorului cu aer cald cu opriri controlate, față de motorul cu aer cald cu funcționare continuă, de tip Stirling sau chiar motoarele clasice cu ardere internă, și anume:

- Mișcarea are loc în mod discontinuu, datorită producerii fenomenului de opriri controlate, iar acest lucru determina modificări majore în dinamica proceselor termodinamice, dar și în comportarea diferitelor subansamble mecanice. Părțile mecanice componente vor trebui proiectate în așa fel încât mișcarea cu oprire să nu producă încărcări și tensiuni mecanice suplimentare, datorate inerției corpurilor.
- Punerea în mișcare și oprirea oscilatorului principal, și a ansamblului piston-displacer, se face prin transfer controlat de impuls mecanic, iar deoarece interacțiunea este mediata de resortul comun celor două corpuri (k_2), nu vor exista variații discontinue ale forțelor ce acționează asupra sistemelor mecanice, transferul de impuls făcându-se din aproape în aproape, în mod continuu prin resort. Felul în care se face transferul controlat de impuls mecanic prin resortul comun dintre oscilatorul principal și cel secundar, a fost explicat: pentru cazul ideal, în mod analitic, numeric și experimental, în capitolul 4.
- Din punct de vedere al consumului suplimentar de energie mecanică, pentru producerea opririlor controlate, privitor la câmpul magnetic al magneților permanenți folosiți în stimularea fenomenului, acesta s-a considerat într-o primă ipoteză simplificatoare, a fi neglijabil, deși este cunoscut faptul că interacțiunile de tip monopol-monopol sau dipol-dipol dintre magneți, nu sunt perfect conservative, ci se petrec cu consum energetic suplimentar, ce se pierde în orientarea sau reorientarea domeniilor magnetice.
În acest sens specificam că, în prima fază de cercetare, opririle controlate au fost studiate cu ajutorul unui câmp magnetic produs de doi electromagneți, care produceau câmp magnetic atractiv, constant în timp, rezultatul fiind nemulțumitor din punctul de vedere al consumului de energie electrică.
- Opririle controlate se produc la distanță, fără ca magneții sau alte părți mecanice să se atingă, fără coliziune sau impact mecanic, aceasta spre deosebire de cazul opririlor produse în motorul Ringbom, unde oprirea displacer-ului se făcea datorită unor limitări mecanice, și timpul de oprire depindea de particularitățile dimensionale ale motorului. Spre deosebire de motorul mai sus amintit, varianta de motor cu aer cald cu opriri

controlate, propusă de aceasta lucrare, se deosebește prin faptul ca pistonul și displacer-ul, sunt un singur corp ce se mișcă odată cu oscilatorul principal, metoda de oprire fiind una inedită, și anume oprire controlată prin transfer de impuls mecanic în câmp magnetic neliniar. Acest tip de mișcare a fost prezentat în lucrare din punct de vedere teoretic, pe cazuri ideale simplificatoare, a fost simulată comportarea întregului ansamblu mecanic cu ajutorul analizei pe element finit dar au fost aduse și dovezi experimentale, cuprinzând grafice efectuate în timp sincroni de înregistrare ai datelor, mișcările mecanice, presiunile și temperaturile fiind înregistrate cu ajutorul unor dispozitive fizico-chimice și electronice: propuse, realizate și etalonate de către autorul lucrării.

- Deși oscilatorii mecanici cuplați, aflați în circumstanțe asemănătoare situației experimentale descrise, având frecvențe diferite sau ușor diferite, au o comportare specifică „bataților” de oscilații, fenomen cunoscut în literatura de specialitate, în cazul celor doi oscilatori, cuplați în câmp puternic neliniar la capetele cursei, observăm câteva particularități care reprezintă chiar noutatea fenomenului tratat.

Astfel, condiția ca opririle controlate să se producă în mod continuu, cu intermitențele date de timpul de oprire, este ca cei doi oscilatori, considerați decuplați să aibă pulsații proprii aproximativ egale, iar în mod cuplat oscilatorul secund determină pulsația generală, iar oscilatorul principal, considerat cuplat și având pulsație mai mare, să „aștepte” periodic sincronizarea în frecvența și faza, cu oscilatorul secundar, petrecându-se așadar un fenomen de perfectă coordonare a mișcării, acest lucru producându-se datorită existenței câmpului neliniar la capetele cursei, care modifică energia potențială a resorturilor, acest lucru fiind vizibil în figurile de la capitolul 4.

Rezultatele teoretice care demonstrează existența opririlor controlate, care sunt în opinia noastră o combinație optimă sau potrivită de fenomene fizice, puțin studiate până în prezent, este atestată de două articole științifice publicate în reviste internaționale, și anume [10] și [11]. Același fenomen a fost tratat și din punct de vedere al analizei numerice în subcapitolul 4.3, rezultatele fiind similare.

b.

Din punctul de vedere al funcționării termodinamice, datorită mișcării discontinue a ansamblului piston-displacer, eficiența conversiei energetice pe ansamblu, crește din mai multe considerente, dintre care amintim :

- Pe de o parte datorită completării fenomenului de transfer termic și al egalizării temperaturilor maselor de gaz de lucru distribuite, (aerul în cazul prezentat în lucrare), se produce o „relaxare” a fenomenelor de transfer termic, așa cum s-a revendicat în capitolul 2, ne mai existând zone de gaz aflat în proces de încălzire, care să fie „obligat” de către procesul mecanic să parcurgă procesul invers de răcire (ca în cazul motoarelor cu funcționare continuă), gazul de lucru având timp suficient ca să își completeze starea de încălzire sau răcire, după caz.
- Pe de altă parte, datorită scăderii cantității de căldură necesară dilatării gazului de lucru , în timpul transferului de căldură la volum constant, raportată la aproximativ aceeași cantitate de lucru mecanic total, randamentul crește în consecință. Acest aspect, este în opinia autorului cauza principală a creșterii randamentului de 1.56 ori, pentru cazul experimental, așa cum rezultă din capitolul 4, ultima parte.

- Pe toată perioada tranzitului oscilatorului principal (cu întreg ansamblul piston-displacer-gaz de lucru), care se face cu viteza mărită și în timpi mici, conform figurii 5.1, transferul termic nu se face la volum constant, deci va fi necesară o cantitate mai mare de căldură pentru obținerea aceleiași stări de dilatație, conform relației R. Mayer. Deși ponderea cea mai mare în transferul termic o are convecția forțată, care este importantă cantitativ (fapt nedorit, din perspectiva ideii mai sus amintite, unde ne dorim să consumăm cât mai puțină căldură pe ciclul motor, în vederea obținerii eficienței mărite pe ciclul de funcționare), observăm că timpurile de tranzit sunt mici, procesul este oarecum împiedicat să fie considerabil.
Observație: Distribuția și încadrarea fenomenelor de transfer termic pe domenii temporale distincte, nu ar fi fost posibilă la motorul cu funcționare continuă, unde datorită volanților cu moment de inerție mare, mișcarea s-a petrecut cu viteza unghiulară constantă, (mişcări mecanice egale, în timpi egali).

C.

Din punctul de vedere al funcționării cumulate: mecanice și termodinamice, datorită mișcării discontinue a ansamblului piston-displacer, putem concluziona că :

- Deși cele două grupuri de fenomene mai sus amintite, sunt în cadrul funcționării motorului în interdependentă, la funcționarea continuă a motorului cu aer cald, sunt situații când ele se vor influența și autocontrola în neconcordanță, adică timpul de desfășurare al procesului termodinamic să nu fie egal cu timpul de repetiție al oscilațiilor mecanice.
- Ne-am propus să construim un motor cu aer cald, care să funcționeze la gradienti mici de temperatură, dar cu randament îmbunătățit, subiectul fiind o mare provocare, deoarece este știut conform ciclului Carnot, că diferența de temperatură, determină radical creșterea randamentului.
În prezentul studiu, nu s-a urmărit neapărat obținerea unei puteri instalate mari, a unei turații mari în timpul funcționării sau a obținerii unei puteri specifice mari, ci acest motor trebuind a funcționa la diferențe mai mici de temperatură, dar producând același lucru mecanic, absorbind o cantitate mai mică de căldură de la sursele termice.
În motorul cu aer cald, cu opriri controlate prezentat în lucrare, acest lucru se poate face prin controlul, autocontrolul și alegerea constantelor fizice ale sistemului oscilator, dar și prin prezența unor factori de reglaj care să permită obținerea unei perioade de oscilație adecvate și în concordanță cu timpurile de desfășurare al proceselor termodinamice.
De asemenea prin alegerea constantelor permanente ale sistemelor mecanice, putem determina influența ponderii timpilor de tranzit și a timpilor de oprire, cu ajutorul unor parametri de proiectare, așa cum s-au definit aceștia în capitolul 5.
- O altă problemă, amintită deja în lucrare, este aceea că nu am folosit în proiectare și experimentarea modelului de motor propus, toate pârghiile de obținere a unui motor fiabil, folosite în construcția unor astfel de mașini termice, cum ar fi : presiunea de lucru crescută, gaz de lucru cu exponent adiabatic mare, raport de comprimare mare, folosirea regeneratoarelor, gradienti mari de temperatură, fapt care conduce la obținerea unui randament general mic.
Totuși scopul general al lucrării, a fost de a crea un principiu nou de funcționare al motoarelor termice, acela de a funcționa cu opriri controlate, cu randament crescut, pentru parametrii funcționali dați, fapt care nu împiedică, folosirea oricărui alte pârghii de creștere a randamentului, din cele mai sus amintite.

6.2 Sistematizarea ideilor noi ce reprezintă contribuția originală a autorului și perspective de dezvoltare ulterioară.

Ideile originale dezvoltate în această lucrare se pot structura în următorul mod:

- Ideea construirii unui motor cu funcționare discontinuă, ce a fost dezvoltată în acest studiu, a fost o idee mai veche a autorului, cu care a venit în contact odată cu dezvoltarea aptitudinilor de experimentator, pasionat de tehnică, prin observații atente ale rolului avansului mecanic vacuumatic, de la motoarele cu apindere prin scânteie, prezent la autoturismele de generație mai veche (acesta este tot un dispozitiv de acord optimal între timpul de desfășurare a proceselor termodinamice și al timpului de repetiție al procesului mecanic, în sensul că la turații mai mari, inițierea arderii trebuie să fie făcută mai devreme, pentru ca în timpul ciclului motor, amestecul carburant să poată arde complet). Ideea a fost de a construi un motor termic ale cărui procese termodinamice să se petreacă discontinuu, cu oprire în timpul funcționării. În acest sens lucrarea de față propune, postulează și realizează un motor termic cu aer cald, mono-piston și mono-displacer, care fiind liber de mișcări de rotație, și bazându-se doar pe cuplaje prin resorturi, poate realiza acest deziderat, și anume al funcționării unui motor termic cu opriri controlate, cu conservarea energiei de mișcare, pe perioada opririlor.
- De asemenea, în urma studiilor și a discuțiilor științifice, purtate în privința oscilațiilor armonice ideale, produse de oscilatorul mecanic de tip masa resort, având lege de mișcare sinusoidală, s-a pus problema următoare: Corpul aflat în mișcare permanent oscilatorie, având viteza unghiulară constantă, care la trecerea prin poziția de echilibru are viteza maximă, iar la capetele cursei are viteza zero, - își schimbă direcția de mers cu oprire sau fără oprire?
Unul din răspunsurile evidente ar fi acela că viteza se reduce lent până la zero, schimbându-și doar sensul, dar corpul nu se oprește ci trece dintr-o dată de la viteză pozitivă, la viteza negativă, fără să devină zero, fapt care ar însemna că acesta nu se oprește. Acest răspuns introduce tot odată incertitudinea că viteza corpului nu atinge viteza zero, ci se apropie de ea, oricât de mult.
Lucrarea de față răspunde la această problemă, demonstrând că întrebarea de mai sus este o problemă de considerare a intervalului de timp, reușind să modeleze un astfel de sistem oscilator, cu forte neliniare distribuite, unde am demonstrat că deși pentru intervale de timp mai mari decât o oprire, mișcarea se face fără oprire, pentru intervale de timp mai mici decât o perioadă de oprire, această mișcare mecanică încetează, corpul oprindu-se.
- Din punctul de vedere al explicațiilor fenomenelor termodinamice și al fenomenelor mecanice am considerat în primul rând tratarea fenomenelor fizice luate separat, mai întâi pe cazul ideal apoi pe cazul practic dar cu ajutorul unor ipoteze simplificatoare. Astfel în subcapitolul 4.1, s-a tratat, pe rând problema oscilatorului dublu ideal, aflat în câmpurile elastice ale resorturilor, propunându-se o rezolvare inedită, a algebrei vectoriale, metodă ce va fi folosită câteva paragrafe mai târziu în rezolvarea problemei de ansamblu. În al doilea rând s-a tratat teoretic, cu ajutorul funcțiilor eliptice descoperite de către Carl Jacobi, comportarea oscilatorului simplu, masa-resort, aflat în câmpul puternic neliniar a doi magneți permanenți, care produc forte distribuite la capetele cursei, obținându-se legea de mișcare ca o funcție matematică eliptică, dependentă de argumentul timp și argumentul excentricitate. În al treilea rând pe baza celor două modele, mai sus amintite, s-a prezentat în subcapitolul 4.2, o metodă

originală de rezolvare, bazată pe utilizarea transformărilor vectoriale unitare, finalizată cu demonstrarea legilor de mișcare a dublului oscilator armonic, cuplat, aflat în câmp magnetic neliniar, prin rezolvarea pentru cazul general a sistemului de ecuații diferențiale de ordinul doi, omogene, cuplate. În situația dată, bazându-ne pe ipoteze simplificatoare, putem spune că rezolvarea acestora pentru cazul ideal, modelează și relevă condițiile de producere și existența susținută a opririlor controlate

- În urma analizelor experimentale, s-au ales cele mai reprezentative seturi de date, relevându-se grafic diferențele funcționale mecanice și termodinamice dintre funcționarea în mod continuu sau funcționarea cu opriri controlate, pentru un motor cu aer cald, cele mai relevante rezultate grafice fiind prezentate în capitolele 3 și 4, unde s-au făcut asocieri în același inter grafic în raport cu timpul comun, și se pot observa variațiile sincrone ale fenomenelor asociate, dar și acele variații ale mărimilor care apar ca influența a celorlalte mărimi concurente.
Se poate observa cum în cazul opririlor controlate oscilatorul secundar își schimbă semnul accelerației de 8 ori pe un ciclu complet de funcționare, iar în cazul funcționării continue, același oscilator secundar își schimbă semnul doar de 4 ori pe un ciclu complet de funcționare, cauza acestui efect a fost explicată în capitolul 4.
- S-au trasat curbele de corespondență biunivocă, ale variațiilor presiunii și volumului, în ambele situații luate în considerare, obținându-se diagramele PV, pentru exact aceeași situație experimentală, rezultate prezentate la sfârșitul capitolului 4. Pentru funcționarea continuă, la ciclul PV, s-au observat variații cu margini rotunjite, reliefând variații continue, ne perfect determinabile și ne perfect încadrate în tipicul ciclului PV ideal. Pentru funcționarea cu opriri controlate se relevă, un ciclu PV cu caracteristici noi, observându-se transformări aproape ideale reprezentate prin grupuri de distribuții de puncte, și anume două transformări aproape izocore, dar au fost remarcate și 2 transformări izobare și politrope.
Mai mult a fost realizat, un grafic comparativ cumulat al ciclurilor PV la funcționarea continuă și discontinuă, unde se poate vedea diferența ariilor inter graficelor, ca o primă măsură de estimare a randamentului, cea corespunzătoare funcționării discontinue fiind considerabil mai mare.
- S-au făcut calcule estimative ale randamentului final obținut în situațiile experimentale prezentate, acesta fiind de 1.56 de ori mai mare în cazul funcționării discontinue, dar și o aproximare teoretică a creșterii maxime a randamentului la funcționarea discontinuă, în situația dată experimentală, aceasta creștere putând fi de 1.9 ori mai mare.
- În plus din punct de vedere teoretic, în capitolul 5 se pot vedea mai multe metodele estimare a calculului randamentului, pe baza unor ponderi ale influenței timpilor de oprire și ai timpilor de tranzit. Formulele demonstrate în capitolul 5, cât și modelele simplificatoare prezentate acolo, pun bazele proiectării, analizei și funcționării unui motor experimental, care poate funcționa în aceleași condiții de încercare ca și un motor cu funcționare continuă, dar cu randament crescut.
- S-a prezentat în subcapitolul 5.3, o metoda teoretică de optimizare, care a fost demonstrată pe considerente obiective și implementabilă cu ajutorul unei formule de calcul, de la care se așteaptă o perfectă corelare a timpilor de desfășurare ai procesului termodinamic, cu timpul de desfășurare al procesului mecanic.

Adițional metodei teoretice, a fost prezentată și o soluție experimentală, cu ajutorul căreia se poate controla perioada de repetiție a procesului mecanic în funcție de diferența de temperatură dintre sursele caldă și rece.

- O posibilă soluție tehnică, privind transformarea ulterioară a energiei mecanice în energie electrică, a fost prezentată succint. Aici reamintim faptul că un astfel de motor, pentru a avea o utilitate practică, nu poate transforma energia mecanică în mișcare de rotație, fiind necesară recuperarea energiei mecanice, sub forma de energie electrică, cu ajutorul alternatorilor liniari.

6.3 Posibilitatea de implementare industrială a unui dispozitiv de tip „ Motor cu aer cald cu opriri controlate”, ca mod de recuperare a energiei din surse termice cu diferențe mici de temperatura.

Premize conceptuale:

- Posibilitățile de utilizare ale unui motor cu aer cald de tip Stirling, sunt din cele mai diverse, studii recente arătând că există variante mult îmbunătățite ale acestui tip de motor, care au atins valori mari ale randamentului conversiei energetice de peste 50%, mai mari decât ale oricărui alt tip de motor termic, de tip Diesel sau Otto, de asemeni și decât al celulelor fotovoltaice cunoscute, fapt care îl promovează a fi un important subiect de cercetare științifică.
- Dezavantaje principiale sau constructive, cum ar fi puterea specifică masică mică, fapt care face ca acest motor să fie mai voluminos, sunt întrecute de faptul că acest tip de motor poate funcționa cu surse externe de căldură, care nu este necesar să fie neapărat obținută prin procese de ardere. Astfel că el poate funcționa cu radiație termică provenită de la soare în varianta cu concentrator solar sau fără, sau putând fi direct propulsat cu energie termică provenind din mediul înconjurător.
- Deși tipurile de motor termic Stirling Alfa și Beta, sunt propulsabile doar cu gradienti termici mari de temperatură, necesitând procese de ardere ale combustibililor sau folosirea unor concentratori solari, tipul Gama Stirling se poate folosi și în cazul diferențelor mici de temperatură, la diferențe ușor realizabile pe baza radiațiilor solare, chiar și fără concentrator al radiației solare.
Motorul termic propus în aceasta lucrare face parte din categoria motoarelor care funcționează cu diferențe mici de temperatură, el fiind un Gama Stirling, mult modificat.

Rationamentele care fac ca motorul cu opriri controlate, să fie aplicabil, și fiabil din punctul de vedere al implementării industriale, sunt:

- Din punctul de vedere constructiv, mecanismul simplificat, fără piese rotative și având legătură fixă între dispozitivele active (piston-displacer), utilizarea de resorturi lamelare și modul compact, perfect izolat de exterior, în cazul tipului disc, fac acest tip de motor să fie utilizabil în orice condiții atmosferice, chiar în condiții extreme.
- Posibilitățile de reglaj și stimulare a obținerii opririlor controlate fiind în totalitate mecanice, nu necesită dispozitiv electronic de comandă al stimulării opririlor, simplifică și mai mult posibilitățile de implementare industrială în condiții de fezabilitate apreciabile.
- Capabilitatea de acord continuu, a timpului de desfășurare al fenomenelor mecanice, în raport cu timpul optim de desfășurare al proceselor termodinamice, prin metodele indicate, fac de asemenea ca lucrarea de față să fie un pilon în dezvoltarea tehnicilor, din ce în ce mai eficiente, de recuperare a energiei solare și transformarea acesteia în energie electrică indispensabilă societății umane dezvoltate.

LUCRĂRI PUBLICATE SAU COMUNICATE PE PROBLEMATICA TEZEI DE DOCTORAT

- 1. Software calibration of the sensors for acquisition board systems by using a mathematical model.** Nicusor Nistor, Constantin Gheorghies. New technologies and products in machine, manufacturing technologies. Tehnomus Journal, TEHNOMUS 2013, p185. Lucrarea este online la link-ul: http://www.fim.usv.ro/conf_1/tehnomusjournal/pagini/journal2013/files/31.pdf.
- 2. Theoretical Method in Finding of the Energetic Efficiency by Using the Functional Surfaces,** (prezentare sub forma de poster), Nistor Nicusor, Constantin Gheorghies. UGALnano3, Sectia 3. Materiale functionale si nanotehnologii din cadrul Conferința Științifică a Școlilor Doctorale din UDJ Galați CSSD-UDJG 2013.
- 3. Study of analytical function of correlation for random parameter process.** Nicusor Nistor, Constantin Gheorghies. The annals of "Dunărea de jos" University of Galați fascicle V, Technologies in machine building, ISSN 1221-4566, 2013. Lucrarea este online la link-ul: <http://www.cmrs.ugal.ro/TMB/2013/L04%20Nistor.pdf>
- 4. Algorithm to find the general laws of motion of the double oscillator, by using advance transformations on 1n-parametric vector space R^2 .** Nistor, Nicușor; Gheorghies, Constantin; Cazacu, Nelu. The annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 2014 Special Issue, Vol. 37, p99-105. Lucrarea a fost tipărită în analele Universității, dar nu este încă vizibilă online.
- 5. The motion equation of a spring-magnet-mass system placed in nonlinear magnetic field. An analytical solution of elliptic sine form functions.** Nicusor Nistor, Constantin Gheorghies, Nelu Cazacu, DOI :10.9734/BJMCS/2016/20083, British Journal of Mathematics & Computer Science, ISSN: 2231-0851, SCIENTEDOMAIN international. Lucrarea extenso cât și abstractul lucrării sunt online la link-ul: <http://scientedomain.org/abstract/11861>.
- 6. The behavior of two coupled mechanical oscillators in non-linear fields and the possibility of obtaining controlled halts.** Nicusor Nistor, Constantin Gheorghies, Nelu Cazacu, Gabriela Tudor. British Journal of Mathematics & Computer Science, SCIENTEDOMAIN international. **Articol științific în curs de apariție online.**
- 7. A numerical approach for optimising the efficiency of a specific heat engine.** Gabriel Murariu, Adrian Dinescu, Nicusor Nistor, Adrian Gabriel Murariu. The 15th International Balkan Workshop on Applied Physics, Constanta, Romania, Iulie 2015. Lucrare științifică susținută la conferința științifică. Abstractul lucrării este vizibil în secțiunea S4P14, la link-ul: http://www.nipne.ro/dpp/Collab/LHCb/upgrade/docs/Book_Abstacts_IBWAP-2015.pdf.
- 8. Numerical approaching of a stirling engine system.** Gabriel; Murariu, Adrian-Gabriel, Nistor, Nicușor. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics . 2014 Special Issue, Vol.37, p17-22. Abstractul lucrării este vizibil online la: <http://connection.ebscohost.com/c/articles/110689252/numerical-approaching-stirling-engine-system>

9. Analytical solutions for free oscillating system using Maple software. Murariu, Gabriel; Nistor, Nicușor; Georgescu, Lucian; Iticescu, Catalina; Vlad, Ciprian, Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics . 2014 Special Issue, Vol. 37, p137-141. 5p. Lucrarea a fost tipărită în analele Universității, dar nu este încă vizibilă online.

10. Specific data acquisition system for a stirling engine. Nicușor Nistor, Gabriel Murariu, Lucian Puiu Georgescu, Constantin Gheorghies. annals of "dunarea de jos" University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle ii, year vii (xxxviii) 2015, no.1. Lucrarea a fost tipărită în analele Universității, dar nu este încă vizibilă online.

11. Cerere de brevet de invenție, în curs de înregistrare la O.S.I.M (OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI), în care revendicăm folosirea opririlor controlate în funcționarea unui motor termic cu aer cald.

Bibliografia.

- [1] Condrat Adrian Homutescu, Gheorghe Savutescu, Emil Jugureanu, Vlad Mario Homutescu. Introducere în mașini stirling. Editura CERMI, Iași 2003. ISBN 973-667-016-3
- [2] Sier, R. 1999. *Hot air Caloric and Stirling Engines*. L.A. Mair: Chelmsford.
- [3] James R. Senft, "Ringbom Stirling Engines", 1993, Oxford University Press.
- [4] C. A. Kitio Kwuimy, C. Nataraj and M. Belhaq, Chaos in a Magnetic Pendulum Subjected to Tilted Excitation and Parametric Damping, Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume 2012, Article ID 546364, 18 pages.
- [5] Todor Todorov, Rumen Nikolov, Dynamical modeling of mechanical oscillations in magnetic field, Recent Journal. 2008;9:1(22). ISSN 1582-0246.
- [6] L. Toma, "Sisteme de achiziție și prelucrarea numerică a semnalelor", Editura de Vest, Timișoara, 1996.
- [7] PIC16F882/883/884/886/887; 28/40/44-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers 2006-2012, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved. ISBN: 9781620766743, <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291G.pdf>>
- [8] Hargreaves, C. M. (1991). *The Philips Stirling Engine*. Elsevier Publishers. ISBN 0-444-88463-7.

- [9] John H Barrett, Oscillation theory of ordinary linear differential equations, *Advances in Mathematics* Volume 3, Issue 4, October 1969, Pages 415-509, doi:10.1016/0001-8708(69)90008-5, Science Direct.
- [10] Nicusor Nistor, Constantin Gheorghies, Nelu Cazacu, The motion equation of a spring-magnet-mass system placed in nonlinear magnetic field. An analytical solution of elliptic sine form functions, DOI :10.9734/BJMCS/2016/20083, *British Journal of Mathematics & Computer Science*, ISSN: 2231-0851, SCIENCEDOMAIN international.
- [11] Nicusor Nistor, Constantin Gheorghies, Nelu Cazacu, Gabriela Tudor. The behavior of two coupled mechanical oscillators in non-linear fields and the possibility of obtaining controlled halts *British Journal of Mathematics & Computer Science*, SCIENCEDOMAIN International, **(in press)**
- [12] Ražnjevc, K. : *Tabele și diagrame termodinamice* , Editura Tehnică, București, 1978.
- [13] B.H. Changa, A.F. Millsb, Effect of aspect ratio on forced convection heat transfer from cylinders, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 47, Issues 6–7, March 2004, Pages 1289–1296.
- [14] Klein, M. and L. Eriksson: A comparison of specific heat ratio models for cylinder pressure modeling. SAE Technical paper 2004-01-1464, 2004.
- [15] K.Kadoya, N. Matsunaga, and Nagashima. „Viscosity and Thermal Conductivity of Dry Air in the Gaseous Phase”, *Jurnal of Phys. Chem. Ref. Data*, vol 14, No 4, 1985
- [16] Whitelaw, Jim H. „Convective heat transfer”, < <http://thermopedia.com/content/660/>>, doi: 10.1615/atoz.c.convective_heat_transfer.
- [17] Michael Ben-Chaim, Efraim Shmerling, Alon Kuperman, „Analytic Modeling of Vehicle Fuel Consumption”, *Energies* 2013, 6, 117-127; doi:10.3390/en6010117.
- [18] S. Boisseau, G. Despesse, S. Monfray, O. Puscasu, T. Skotnicki, “Semi-flexible bimetal-based thermal energy harvesters”, 2013 *Smart Mater. Struct.* 22 025021, doi: 10.1088/0964-1726/22/2/025021
- [19] C.R. Saha, Paul H. Riley, J. Paul, Z. Yu, A.J. Jaworski, C.M. Johnson, “Halbach array linear alternator for thermo-acoustic engine”, *Sensors and Actuators “, A: Physical* Volume 178, May 2012, Pages 179–187, doi:10.1016/j.sna.2012.01.042, Elsevier.

Nistor Nicușor- Contribuții la creșterea randamentului unei mașini termice cu aer cald, prin controlul mișcării în sisteme elastice, cuplate magneto-mecanic.

Lucrări publicate și Bibliografia