



Universitatea Tehnică a Moldovei

**Elaborarea și cercetarea algoritmilor de comandă cu
sistemul inerțial de control atitudine pentru
nanosateliți.**

Student :

Chiriac Marin

Conducător :

Secieru Nicolae

Conf.univ., dr.

Chișinău 2023

ADNOTARE

Autorul : Chiriac Marin. gr. SCE-211M

Titlu tezei de master “Elaborarea și cercetarea algoritmilor de comandă cu sistemul inerțial de control atitudine pentru nanosateliți.”

Structura lucrării: Introducerea, 3 Capitole, Concluzii, Bibliografie, Anexe

Cuvintele-cheie: Satelit, Control , Atitudine, Sistem, Algoritm.

Problematica studiului: Elaborarea și cercetarea algoritmilor de comandă cu sistemul inerțial de control atitudine pentru nanosateliți.

Scopul lucrării: Elaborarea și cercetarea algoritmilor de comandă cu sistemul inerțial de control atitudine pentru nanosateliți.

Obiectivele:

1. Cercetarea componentei sistemului de control al nanosatelitului.
2. Cercetarea principiilor de funcționare a subsistemului magnetic de control al atitudinii.
3. Cercetarea subsistemul magnetic si a subsistemului inerțial de control atitudine a nanosatelitului.
4. Elaborarea algoritmului de control a atitudine nanosatelitului.
5. Simularea și cercetarea algoritmilor de actionare a roților volante cu motoare electrice.
6. Cercetarea algoritmilor de stabilizare si control a atitudinii nanosatelitului.
7. Cercetarea algoritmilor de combatere a rostogolirii satelitului.

Metodele aplicate: Cercetare sistemului de control al satelitului, cercetarea senzorilor, metode de control al atitudinii, cercetare subsistemului magnetic de control , cercetarea subsistemului inerțial de control, elaborarea structurii de control, algoritmi de control, elaborarea algoritm detumbling.

Rezultatele obținute: a fost analizat structura satelitul, s-a analizat tipurile de satelit cubesat, s-a cercetat subsistemul și standartul cubesat, sa subsistemul control atitudine al nanosatelitului educațional TUMnanoSAT, s-a elaborat schema de structura, sau determinat tipurile de senzori, sau realizat algoritmi de control al atitudinii, sau elaborat algoritmi de accelerarea si decelerarea a rotii volante, s-a elaborat algoritmi de detumbling, s-a simulat in matlab acești algoritmi în cazul cu o roată volantă si cu trei roți volante.

SUMMARY

Author: Chiriac Marin gr.SCE-211M.

Title: "Development and research of command algorithms with the inertial attitude control system for nanosatellites."

Thesis structure: Introduction, 3 chapters, Conclusions, Bibliography, Annexes

Keywords: Satellite, Control, Attitude, System, Algorithm

Research problem: Development and research of command algorithms with the inertial attitude control system for nanosatellites

Thesis purpose: Development and research of command algorithms with the inertial attitude control system for nanosatellites

Objectives:

1. Research of the nanosatellite control system component.
2. Researching the operating principles of the magnetic attitude control subsystem.
3. Research of the magnetic subsystem and the inertial subsystem of attitude control of the nanosatellite.
4. Development of the nanosatellite attitude control algorithm.
5. Simulation and research of flywheel actuation algorithms with electric motors.
6. Researching the stabilization and attitude control algorithms of the nanosatellite.
7. Researching algorithms to combat satellite roll.

Applied methods: Satellite control system research, sensor research, attitude control methods, magnetic control subsystem research, inertial control subsystem research, control structure development, control algorithms, dedumpling algorithm development.

The obtained results: the structure of the satellite was analyzed, the types of cubesat satellite were analyzed, the standart of cubesat subsystem was researched, the attitude control subsystem of the educational nanosatellite TUMnanoSAT was developed, the structure scheme was developed, or the types of sensors were determined, or attitude control algorithms were developed, or developed flywheel acceleration and deceleration algorithms, detumbling algorithms were developed, these algorithms were simulated in Matlab in the case of one flywheel and three flywheels.

CUPRINS

INTRODUCERE.....	8
Lista figuri.....	9
Lista tabele.....	11
1. ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE ÎN SEGMENTUL SATELIȚILOR EDUCAȚIONALI ȘI A METODELOR DE CONTROL ATITUDINE.....	12
1.1. Actualitatea temei	12
1.2. Standardul CubeSat pentru sateliți	13
1.3. Nanosatelitul educațional TUMnanoSAT.....	16
1.3.1. Subsistemul control atitudine al nanosatelitului educațional TUMnanoSAT.....	17
1.3.2. Problemele de determinare și controlul a atitudinii nanosateliților	19
1.4. Provocări de control atitudine nanosateliți pentru orbite LEO	20
1.5. Formularea problemelor de cercetare	21
2. REALIZAREA CONTROLULUI ATITUDINII NANOSATELIȚILOR.....	22
2.1 Misiuni ale nanosatelitului, care necesită control atitudine.....	26
2.2 Componenta sistemului control atitudine a nanosatelitului TUMnanoSAT.....	28
2.2.1 Subsistemul magnetic de control atitudine a nanosatelitului	29
2.2.1.1 Principiul de funcționare a subsistemul magnetic de control atitudine.....	33
2.2.1.2 Senzorica și elementele de acționare.....	40
2.2.2.1 Principiul de funcționare a subsistemul inerțial de control atitudine.....	41
2.2.2.2Senzorica și elementele de acționare.....	42

3. ELABORAREA ȘI VERIFICAREA ALGORITMILOR SUBSISTEMULUI INERȚIAL DE CONTROL ATITUDINE A NANOSATELIȚILOR	
3.1 Structura software de control atitudine a nanosatelitului.	46
3.2 Algoritmi de acționare a roților volante cu motoare electrice pentru accelerare și decelerare.....	48
3.2.1 Simularea și cercetarea eficienței algoritmilor de acționare a roților volante cu motoare electrice pentru accelerare și decelerare.	50
3.3 Algoritmi de combatere a rostogolirii satelitului (detumbling).....	52
3.3.1 Simularea și cercetarea eficienței algoritmilor: cazul cu trei roți volante.....	55
3.4 Algoritmi de stabilizare și control atitudine a satelitului.	56
3.5 Elaborare driverului pentru motor	59
3.6 Software instrumental pentru realizarea algoritmilor de control atitudine a nanosatelitului.....	60
CONCLUZIE	61
BIBLIOGRAFIE	63
ANEXA 1	64

INTRODUCERE

Spațiul cosmic încă din antichitate a creat un mare interes pentru oameni, unul dintre primii cercetători ai corpurilor cerești a fost Galileo Galilei. Acesta a fost fizic, mecanic, filosof, și astronom . El pentru prima oara a folosit telescopul pentru a cerceta spațiul cosmic. Acesta a făcut o mulțime de descoperiri astronomice la timpul sau. Astfel punând bazele astronomii. [1]

Deci primul satelit care o fost lansat cu succes în spațiul cosmic a avut denumirea de Sputnik 1, acesta a fost lansat din cosmodromul din Baikonur astfel este reprezentat in figura 1.1. Astfel la 4 octombrie 1957 a fost lansat acest sputnic pe orbită pământului. Acesta eveniment a pus începutul unei noi ere cosmice, datorita cărei sa început goana între Uniunea Sovietica și Statele unite ale Americii in cercetare, dezvoltarea tehnici cosmice și explorarea spațiului cosmic. Acest sputnic este foarte simplu pentru noi dar complicat pentru acele timpuri, scopul și misiunile care le avea au fost de testarea capacității tehnice a aparatului și verificarea calculelor efectuate pentru lansarea cu succes a satelitului, cercetarea ionosferei prin influența undelor radio emise de către sputnic către suprafața terestra. Și desigur cercetare influenței cosmosului asupra utilajului, și desigur determinare condițiilor prielnice.

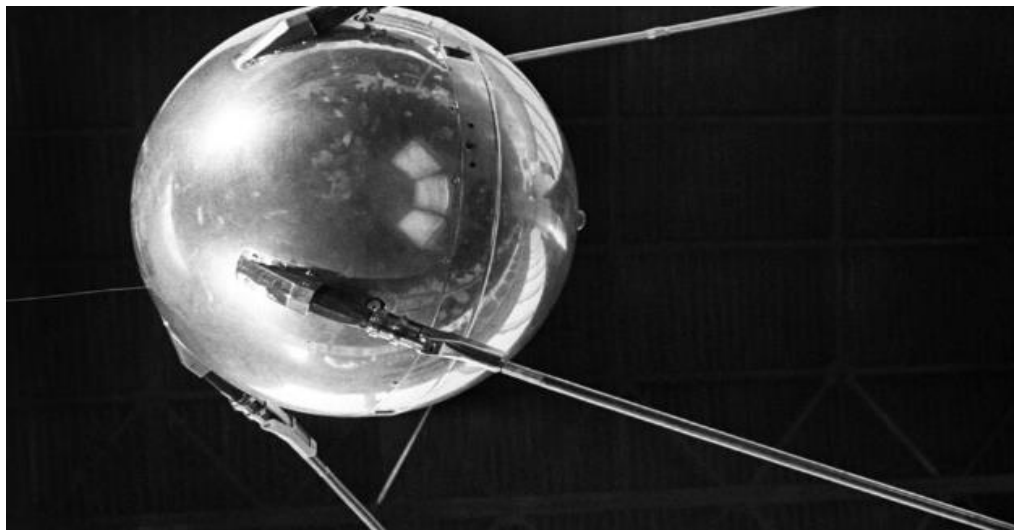


Fig.1.1 Primul satelit lansat in spațiul cosmic[2].

CONCLUZII

În acest proiect de teza de master s-a elaborat și cercetat algoritmi de comandă al sistemului inerțial de control atitudine pentru nanosateliți. Astfel s-au realizat scopurile și obiectivele care au fost enumerate în sarcina lucrării. Deci s-au îndeplinit următoarele :

1. Cercetarea componentei sistemului de control al nanosatelitului.

S-a analizat și cercetat componenta sistemului de control a diferitor sateliți de tip cubesat, astfel sau determinat parametri fizici , cum ar fi dimensiuni, greutate și altitudine la care orbitează. Astfel sa ajuns la concluzia că la majoritatea sateliților de tip cubesat se folosește sistemul de control bazat pe subsistemul magnetic.

2. Cercetarea principiilor de funcționare a subsistemului magnetic de control al atitudinii.

În urma cercetărilor principiilor de funcționare a subsistemului magnetic de control sa ajuns la ideea că acest sistem este destul de complex, fiindcă are în componenta sa o mulțime de senzori cum ar fi senzori de magnetism, axelerometre, dar și actuatori cum ar fi magnetorquer care la rândul său fiind suprasolicitați cu tensiune pun în mișcare satelitul pe una dintre axe X, Y sau Z.

3. Cercetarea subsistemul inerțial de control atitudine a nanosatelitului.

Subsistemul inerțial de control este mult mai avansat de cel magnetic deoarece are o precizie de rotație mult mai mare fiind de 0,5 grade pe cel magnetic este de cel puțin 5 grade. Acest sistem consta din roți volante care sunt situate pe cele trei axe x, y și z , astfel ele sunt puse în funcție de 3 motoare electrice trifazate . Sau ales acest tip de motoare deoarece au rotații mari și vibrații minime astfel se poate de obține un moment de forță foarte rapid.

4. Realizarea controlului atitudinii nanosatelitului.

Realizarea controlului atitudinii nanosatelitului este destul de dificilă deoarece trebuie în momentul real de calculată viteza și unghiul de rotație a satelitului, ca mai apoi să se pună în funcție sistemul inerțial de control și stabilizare pentru a oferi satelitului direcția dorită și stabilizarea sa în spațiu.

5. Elaborarea structurii de control a atitudinii nanosatelitului.

S-a realizat structura de control al satelitului acesta este descrisă în teză, astfel acesta structură consta în achiziție datelor de la senzori care măsoară viteza unghiulară, poziționare în spațiu cu ajutorul senzorilor de soare, ca mai apoi să se calculeze momentul de forță care va fi creat de către roțile volante.

6. Simularea si cercetarea algoritmilor de acționare a roților volante cu motoare electrice.

S-a simulat si cercetat algoritmi de acționare a roților volante astfel sa creat algoritm de accelerare si decelerarea, astfel sa stabilit cea mai reușită metoda de acționare a roților volante.

7. Elaborarea algoritmilor de combatere a rostogolirii a satelitului.

S-a cercetat si elaborat algoritmul de combatere a rostogolirii satelitului, astfel acest algoritm necesita o mulțime de resurse si implica mai toata periferia satelitului, începând cu senzorii de poziție, viteza si magnetism care descriu starea satelitului până la actuatori cum ar fi motoarele trifazate cu roțile volante.

BIBLIOGRAFIE

1. Galileo Galilei. [accesat 10.10.2022]
Disponibil : [Галилей, Галилео — Википедия \(wikipedia.org\)](https://ro.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei)
1. Primul satelit lansat in spațiu cosmic. [accesat 10.10.2022]
Disponibil: [Первый спутник Земли \(Спутник-1\) - когда был запущен, история создания и запуска | Статьи | 04.10.2022 | РЕН ТВ \(ren.tv\)\](https://www.ren.tv/ro/stiri/04-10-2022/peh-tv-04-10-2022-01)
2. CubeSat satellite. [accesat 10.10.2022]
Disponibil: [What are SmallSats and CubeSats? | NASA](https://www.nasa.gov/feature/small-sats-what-are-cubesats)
3. CubeSat asc-csa . [accesat 10.10.2022]
Disponibil: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/cubesat/what-is-a-cubesat.asp>
4. TUMnanoSat. [accesat 10.10.2022]
Disponibil: <https://nanosat.utm.md/>
5. Magnetometru. [accesat 10.10.2022]
Disponibil: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/magnetometer>
6. Cubesat misiuni . [accesat 10.10.2022]
Disponibil: <https://pressbooks-dev.oer.hawaii.edu/epet302/chapter/7-7/>
7. Sensori solari. [accesat 10.10.2022]
Disponibil: <https://blog.satsearch.co/2020-02-12-sun-sensors-an-overview-of-systems-available-on-the-global-marketplace-for-space>
8. Orbitele leo [accesat 11.10.2022]
Disponibil: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/low-earth-orbit>
9. **TUMnanoSAT (Technical University of Moldova Nano-Satellite)**
disponibil: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/tumnanosat.htm
10. Tumnanosat
Disponibil: [accesat 11.10.2022] https://www.clge.eu/wp-content/uploads/2020/02/Chiriac_TUMnanSAT_presentation.pdf
11. Accelerometer sensors [citat 23.10.22]
Disponibil: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/accelerometer-sensor>
12. Stm32f4 series [citat 23.10.22] , disponibil : <https://st.com>
13. A low power magnetic torquer [ciatat 24.10.22], disponibil:
<https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=2889&context=space-congress-proceedings>
14. International Geomagnetic Reference Field: the thirteenth generation. [citat 27.10.22],
diponibil: <https://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-020-01288-x>

15. I2C [citat 10.10.22], disponibil;<https://ru.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
16. What is an accelerometer? [ciatat 11.10.22] disponibil:
<https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-accelerometer>
17. The nadir is basically the anti-zenith. [citat 29.10.22], diponibil:
<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/n/nadir>
18. Attitude Determination and Control Systems [citat 30.10.22] disponibil:
<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20110007876/downloads/20110007876.pdf>
19. WHAT IS A MAGNETOMETER AND HOW DOES IT WORK? [ciatat 31.10.22]
disponibil: <https://www.youngwonks.com/blog/What-is-a-Magnetometer-and-How-Does-It-Work>
20. НАСА успешно провела эксперимент по спасению Земли от астероида. [citat. 20.10.22]
disponiibl: <https://www.svoboda.org/a/nasa-priznalo-udachnoy-trenirovochnuyu-missiyu-po-spaseniyu-zemli-ot-asteroida/32076080.html>
21. Вид из космоса на инженерные арт-объекты Земля планета [ciatat.21.10.22]
dispnibil:
https://www.bbc.com/russian/science/2015/12/151221_vert_fut_beauty_of_engineering_never_seen_before
22. Nasa [ciatat 24.10.22] disponibil:
<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19980228274/downloads/19980228274.pdf>
23. SPACECRAFT SUN SENSOR [ciatat. 31.10.22]
disponibil:S<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19710008281/downloads/19710008281.pdf>