

MINISTERUL EDUCAȚIEI, CULTURII ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Electronică și Telecomunicații
Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice

**Admis la
susținere
Șef
departament:
Sava Lilia, Dr., conf.univ.**

”_____”
2020

**Cercetarea componentelor subsistemului de control
atitudine a nanosatelitului ”TUMnanoSAT” și
verificarea lor pe standul de simulare a câmpului
geomagnetic**

Teză de master

Masterand:

**Andronic Alexandru,
MMRT-191**

Conducător:

**Secieru Nicolae
Conf.univ.dr.**

Chișinău, 2020

REZUMAT

Principalul obiectiv al tezei de master este ”*Cercetarea componentelor subsistemului de control atitudine a nanosatelitului TUMnanoSAT și verificarea lor pe standul de simulare a câmpului geomagnetic*”, precum și testarea/verificarea algoritmilor ADCS-ului pentru acest nanosatelit.

Pentru atingerea obiectivelor la elaborarea lucrării au fost folosite 28 de surse bibliografice printre care: monografii, articole, teze și surse electronice. Lucrarea de master este compusă din 3 capitole.

În capitolul 1 ”*Cercetarea și analiza sistemelor de simulare a geomagnetismului*” sunt prezentate informații generale despre nanosateliti și se explică noțiunea de subsistem de determinare și control al atitudinii (ADCS) esențial tuturor sateliților, precum și legătura acestuia cu standul de simulare a geomagnetismului pe bază de bobine Helmholtz. Tot aici sunt prezentate și problemele de cercetare asupra ADCS-ului nanosatelitului TUMnanoSAT.

În capitolul 2 ”*Argumentarea teoretică a simulării câmpului magnetic*” care este cel mai amplu capitol, este prezentat în primul rând misiunile de bază ale nanosatelitului TUMnanoSAT. Tot aici este expusă componența nanosatelitului, structura, subsistemul de putere, cel de comunicare și control și este făcută analiza și selecția senzorilor de control atitudine al TUMnanoSAT. Aici mai este descris și principiul fizic de generare a câmpului geomagnetic ce stă la baza standului de generare a câmpului geomagnetic în cele 3 axe ce face posibilă cercetarea și testarea algoritmilor de control și achiziția de date (ADCS). Softul de interfațare a standului geomagnetic este, de asemenea, relatat în acest capitol.

În capitolul 3 ”*Testarea și verificarea caracteristicilor subsistemului de control atitudine a nanosatelitului TUMnanoSAT*” este descris despre arhitectura computerului de bord (OBC) care are un rol cheie în a face posibilă conectarea diferitor module și echipamente cu diferite funcționalități și pe care rulează software-ul de bord. Tot aici este explicat algoritmul de control atitudine TUMnanoSAT și procesul de achiziție date de la senzori (ADCS), precum și prelucrarea preliminară a datelor achiziționate.

SUMMARY

The main objective of the master's thesis is "Research of the components of the attitude control subsystem of the TUMnanoSAT nanosatellite and their verification on the geomagnetic field simulation stand", as well as testing / verification of ADCS algorithms on this nanosatellite.

In order to achieve the objectives, 28 bibliographic sources were used in the elaboration of the paper, among which: monographs, articles, theses and electronic sources. The master's thesis consists of 3 chapters.

Chapter 1 "Research and analysis of geomagnetism simulation systems" presents general information about nanosatellites and explains the notion of attitude determination and control subsystem (ADCS) essential for all satellites, as well as its connection with the geomagnetism simulation stand based on of Helmholtz coils. Also presented here are the research issues on the ADCS of the TUMnanoSAT nanosatellite.

In Chapter 2 "Theoretical Argumentation of Magnetic Field Simulation" which is the largest chapter, is presented primarily the basic missions of the TUMnanoSAT nanosatellite. Also here is exposed the composition of the nanosatellite, the structure, the power subsystem, the communication and control subsystem and the analysis and selection of the attitude control sensors of TUMnanoSAT is made. Here is also described the physical principle of geomagnetic field generation that underlies the geomagnetic field generation stand in the 3 axes that makes it possible to research and test control algorithms and data acquisition (ADCS). The geomagnetic stand interface software is also reported in this chapter.

Chapter 3 "Testing and verifying the characteristics of the TUMnanoSAT nanosatellite attitude control subsystem" describes the on-board computer (OBC) architecture which has a key role in making it possible to connect different modules and equipment with different functionalities and on which the software runs on board. Also here it is explained the TUMnanoSAT attitude control algorithms and the data acquisition process from the sensors (ADCS), as well as the preliminary processing of the acquired data.

Cuprins

INTRODUCERE	6
1. CERCETAREA ȘI ANALIZA SISTEMELOR DE SIMULARE A GEOMAGNETISMULUI	7
1.1 Informații generale	7
1.2 Determinarea și controlul atitudinii nanosateliților	9
1.3 Formularea problemelor de cercetare	12
2. ARGUMENTAREA TEORETICĂ A SIMULĂRII CÂMPULUI MAGNETIC	13
2.1 Misiunile de bază ale nanosatelitului	13
2.2 Componenta nanosatelitului TUMnanoSAT	14
2.2.1 Configurarea TUMnanoSAT și sistemul global.....	15
2.2.2 Subsistemul de putere al TUMnanoSAT	17
2.2.3 Subsistemul de comunicare	18
2.2.4 Subsistemul de control al atitudinii și al orbitei	20
2.2.5 Analiza și selecția senzorilor de control atitudine al TUMnanoSAT	21
2.3 Principiul fizic de generare a câmpului geomagnetic	24
2.4 Softul de interfațare a standului geomagnetic.....	28
2.4.1 Algoritmul de funcționare a programului de interfațare	29
2.4.2 Interfața grafică a programului de interfațare	32
2.4.3 Subprogramul de comunicare	32
Concluzii:	34
3. TESTAREA ȘI VERIFICAREA CARACTERISTICILOR SUBSISTEMULUI DE CONTROL ATITUDINE A NANOSATELITULUI TUMNANOSAT	35
3.1 Componentele subsistemului control atitudine TUMnanoSAT.....	36
3.2 Algoritmul de control atitudine TUMnanoSAT	38
4.3 Algoritmul de achiziție date de la senzori (ADCS)	42
Concluzii	49
CONCLUZII	50
BIBLIOGRAFIE	52
ANEXE	55

INTRODUCERE

Sateleții care orbitează pământul oferă o acoperire de suprafață mare și acces global la utilizatori. Câteva exemple de produse obținute prin satelit disponibile includ date meteorologice, date științifice, date de navigație și alte informații. Un satelit trebuie să-și determine atitudinea actuală în spațiu pentru a stabili dacă este în cea dorită sau dacă trebuie să facă ceva schimbări pentru a atinge scopul necesar. Subsistemul navei spațiale care efectuează această determinare se numește subsistemul de determinare a atitudinii (ADS [en. attitude determination subsystem]).

Proiectul standului magnetic cu bobine Helmholtz este o abordare interdisciplinară pentru a furniza laboratorului de cercetare Centru Național Tehnologii Spațiale (CNTS) cu un mediu de testare magnetică pentru calibrarea componentelor magnetice și verificarea diferitelor legi de control cum este ADS-ul pentru nanosateleții din seria TUMnanoSAT.

Satelitul elaborat la CNTS se stabilizează și se orientează în spațiu folosind trei componente: senzor de soare pe fiecare suprafață, trei accelometere, trei microgiroscoape, trei magnetometere (a câte unul pe fiecare axă) și trei magnetorquere. Senzorul de soare determină poziția TUMnanoSAT în raport cu soarele. Magnetometrul detectează orientarea și puterea câmpului magnetic în fiecare punct al orbitei. Magnetorquerul controlează atitudinea TUMnanoSAT prin generarea unui câmp magnetic, care interacționează cu câmpul geomagnetic. Astfel prin acest sistem, ADCS se poate de determinat și controlat atitudinea TUMnanoSAT în spațiu și timp.

Scopul lucrării de față este de a cerceta comportamentul componentelor subsistemului de control atitudine, de testat și verificat algoritmi ce au fost elaborați pentru standul geomagnetic. Va fi cercetată atât realizarea programului de interfațare cât și partea hardware a subsistemului.

Problemele de cercetare sunt:

1. De elaborat programele de măsurat câmpul magnetic generat de standul geomagnetic, să fie suficient pentru testarea dinamică a magnetometrului;
2. Simularea câmpului să fie aproximativ egală ca cea de pe orbită necesară cercetării componentelor subsistemului;
3. De determinat și de verificat câmpul magnetic generat de stand să fie suficient încât să-l compenseze pe cel al pământului;
4. De efectuat procedurile de testare a ADCS-ului satelitului TUMnanoSAT;
5. De determinat procedura de calibrare a componentelor subsistemului de control atitudine în câmpul simulat.

BIBLIOGRAFIE

1. Ion Bostan, Viorel Bostan, Nicolae Secrieru, Sergiu Candraman, Andrei Margarint. Dezvoltarea Tehnologiilor Satelitare în Cadrul Universității Tehnice a Moldovei. - In: The 9th International Conference on Microelectronics and Computer Science & The 6th Conference of Physicists of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova, October 19-21, 2017, pp. 134-142.
2. Matt W., "What are Cubesats?", <https://www.universetoday.com/82590/cubesat/>, 2016, [Online; Accesat 3-martie-2019].
3. Alexandra B., "Десять килограммов нано", <https://chrdk.ru/sci/cubesat>, 2015, [Online; Accesat 3-martie-2019].
4. „Что мы знаем о наноспутниках «CubeSat»?”, <http://mapgroup.com.ua/articles/interesno-znat/1180-chto-my-znaem-o-nanosputnikakh-cubesat>, [Online; Accesat 5-martie-2019].
5. Wikipedia, "Inertial measurement unit", https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit, [Online; Accesat 5-martie-2019].
6. Honeywell, "3-Axis Digital Compass IC HMC5883," https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf, [Online; Accesat 9-martie-2019].
7. Wikipedia, "Magnetorquer", <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetorquer>, [Online; Accesat 15-martie-2019].
8. Nicolas R., Alex N., Jordan S., Louie T., Madeline T., "PolySat Helmholtz Cage", <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1437&context=mesp>, 2017, [Online; Accesat 25-martie-2019].
9. Matt W., "What are Cubesats?", <https://www.universetoday.com/82590/cubesat/>, 2016, [Online; Accesat 3-martie-2019].
10. TUMnanoSAT proposal for CubeSAT Mission Application for the Fourth Round in the framework of United Nations/Japan Cooperation Programme on CubeSat Deployment from the International Space Station (ISS) Japanese Experiment Module "KiboCube". – Technical University of Moldova. Chișinău, 2019. 63 p
11. The United Nations/Japan Cooperation Programme on CubeSat Deployment from the International Space Station (ISS) Japanese Experiment Module (Kibo) "KiboCUBE" – In: http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/hsti/kibocube_2019.htm
12. CubeSat Design Specification (CDS) Rev. 13. The CubeSat Program, Cal Poly SLO, 2013. – In: <http://cubesat.org>

13. Bostan Ion, Secieru Nicolae, Ilco Valentin, Levineț Nicolae, Bostan Viorel, Candraman Sergiu, Gîrșcan Adrian, Margarint Andrei. Educational space missions of TUMnanoSat family, - Universitatea Tehnică a Moldovei Telecommunications, Electronics and Informatics 2018. Chișinău, Republica Moldova. ISBN 978-9975-45-540-4.
14. Secieru Nicolae, Levineț Nicolae, Candraman Sergiu, Ilco Valentin, Gîrșcan Adrian, Margarint Andrei. TUMnanoSat family for diverse educational space mission. - Technical University of Moldova Microelectronics and Computer Science Ediția 9. 2017. Chișinău, Republica Moldova. ISBN 978-9975-4264-8-0.
15. UHF Transceiver II - In: <https://www.endurosat.com/cubesat-store/cubesat-communication-modules/uhf-transceiver-ii/>, [Online]; Accesat 04-noiembrie-2020
16. Ilco Valentin, Levineț Nicolae. Modul configurabil de recepție a datelor telemetrice satelitare Universitatea Tehnică a Moldovei Telecommunications, Electronics and Informatics, 2015. Chișinău, Republica Moldova. ISBN 978-9975-45-377-6.
17. Ilco Valentin, Levineț Nicolae, Gîrșcan Adrian, Margarint Andrei, Secieru Nicolae. Satellite telemetry data reception and processing via software defined radio Technical University of Moldova Meridian Ingineresc, Nr. 2(57) / 2015 / ISSN 1683-853X
18. „High-performance ultra low-power 3-axis accelerometer with digital output - AIS328DQ” , <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/555618/STMICROELECTRONICS/AIS328DQ.html>, [Online; Accesat 29-noiembrie-2020].
19. „Digital output magnetic sensor: ultra-low-power, high-performance 3-axis magnetometer”, <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/880677/STMICROELECTRONICS/LIS3MDL.html>, [Online; Accesat 29-noiembrie-2020].
20. „Programmable Digital Gyroscope Sensor”, <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/300897/AD/ADIS16260.html>, [Online; Accesat 29-noiembrie-2020].
21. Nicolas Theoret, Western Michigan University, „Attitude Determination Control Testing System (Helmholtz Cage and Air Bearing)”, 12-6-2016
22. Klesh, A., Seagraves, S., Bennett, M., et al. (2009). “Dynamically Driven Helmholtz Cage for Experimental Magnetic Attitude Determination”. Radio Aurora Explorer. University of Michigan.
23. Wikipedia ”Windows API” https://ro.wikipedia.org/wiki/Windows_API [Online; Accesat 13-aprilie-2019
24. STM32F4 series of high-performance MCUs with DSP and FPU instructions. – In: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f4-series.html?querycriteria=productId=SS1577>, [Online]; Accesat 20-noiembrie-2020

25. N. Secrieru, „Tipuri de senzori, convertoare de semnale, tehnici de achiziție și metode de prelucrare preliminară a datelor”,
<http://elearning.utm.md/moodle/mod/resource/view.php?id=31101>, 2017, [Online; Accesat 01-mai-2019].
26. Andronic Alexandru., Cernean Denis.” Microsistem de comandă pentru standul de simulare a geomagnetismului pentru testarea controlului atitudinii nanosateliților”, In: Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor în cadrul Universității Tehnice a Moldovei, martie 26-29, 2019.
27. ANDRONIC A. *Elaborarea microsistemului de comandă pentru standul de simulare a geomagnetismului pentru testarea controlului atitudinii nanosateliților*: tz. de licență. Chișinău, 2019.
28. Dianna M. Velez, Elizabeth I. Dawson, Nell Elizabeth Nassiff, ”Attitude Determination and Control Subsystem Design for a CubeSat”, martie 2012.