

# MICROSISTEM DE COMANDĂ PENTRU STANDUL DE SIMULARE A GEOMAGNETISMULUI PENTRU TESTAREA CONTROLULUI ATITUDINII NANOSATELIȚILOR

Alexandru ANDRONIC, Denis CERNEAN

Centrul Național Tehnoogii Spațiale, Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** Controlul atitudinii nanosateleților în spațiu, (attitude determination and control subsystem - ADCS) este o funcție foarte importantă pentru cele mai diverse misiuni ale lor. Testarea funcționalității ADCS la etapa de prelansare devine importantă pentru realizarea misiunilor preconizate. Această lucrare își are ca scop realizarea microsistemului de comandă cu o platformă pe bază de bobine Helmholtz pentru automatizarea experimentelor de testare a subsistemului de control atitudine și componentelor lui al nanosateleților.

**Keywords:** Magnetometer, Poziționare, Control Atitudine(ADCS), CubeSat, , magnetorquer, bobine Helmholtz.

## Introducere

Una dintre caracteristicile definitorii ale erei moderne a explorării spațiale este natura ei deschisă. Datorită apariției noilor tehnologii și a măsurilor de reducere a costurilor, sectorul privat este acum capabil să ofere propriile servicii de lansare. În plus, instituțiile academice și țările mici, inclusiv UTM [1], sunt acum capabile să-și construiască sateliții proprii pentru a realiza cercetări atmosferice, pentru a face observații asupra Pământului și a testa noi tehnologii spațiale. Este ceea ce se numește CubeSat, un satelit miniaturizat care permite cercetarea spațială eficientă din punct de vedere al costurilor. Cunoscuți ca nanosateleți, CubeSats sunt construiți la dimensiuni standard de 10x10x10cm (1U) și sunt în formă de cuburi (de aici și numele). Acestea sunt scalabile, care vin în versiuni care măsoară 1U, 2U, 3U sau 6U pe o parte și cântăresc în mod obișnuit mai puțin de 1,33 kg (3 lbs) pe U [2, 3].

CubeSats reduce costurile de lansare. Ei nu cântăresc atât de mult, ceea ce înseamnă că o rachetă nu are nevoie de mult combustibil pentru a le lansa. Cu toate acestea, există câteva provocări de proiectare a CubeSat. Elementele electronice sunt mai mici și, prin urmare, sunt mai sensibile la radiații. Pentru că sunt mici, nu pot purta încărcături mari cu ele [2, 3].

Seria de nanosateleți elaborați la Centrul Tehnologii Spațiale UTM numiți TUMnanoSAT în conformitate cu standardul CubeSat pot realiza o multitudine de misiuni educaționale și științifice. Pentru majoritatea misiunilor este foarte importantă poziționarea satelitului, stabilizarea ei, cu alte cuvinte controlul atitudinii satelitului. Clasa de nanosateleți CubeSat asigură controlul atitudinii în baza câmpului magnetic al Terrei. Apare necesitatea de testare a subsistemului de control atitudine la etapa de prelansare în condiții foarte apropiate pe orbită.

În lucrarea curentă este prezentată realizarea microsistemului de comandă a platformei pe bază de bobine Helmholtz pentru automatizarea experimentelor de testare subsistemului de control atitudine și componentelor lui al nanosateleților.

## Determinarea și controlul atitudinii

Subsistemul de determinare a atitudinii și control al unui nanosatelit este important pentru menținerea unei direcții necesare a navei spațiale și a instrumentelor sale. Există mai multe metode de determinare a atitudinii satelitului prin utilizarea senzorilor de atitudine. Senzorii solari și magnetometrele sunt senzori foarte frecvenți pentru nanosateleți datorită rentabilității lor și disponibilității lor comerciale pe piață, cu diferite versiuni în masă și dimensiuni. După determinarea atitudinii sale, un satelit ar trebui orientat spre o direcție specificată. Pentru a face acest lucru, doi sau mai mulți vectori ar trebui să fie folosiți ca direcții de referință, pe aceasta se concentrează în principal lucrarea respectivă. Vectorii de referință folosiți în mod obișnuit sunt câmpul magnetic al pământului și vectorii unității în direcția Soarelui.

La etapa curentă în nanosateleți tip CubeSat sunt utilizați pentru determinarea atitudinii senzori tip Inertial Measurement Unit (IMU), care conțin:

- unitate integrată cu senzori, electronica și software;
- masa viteza de rotație cu giroscopuri;
- masa mișcarea corpului/satelitului cu accelerometre;

Un alt tip de sensor este magnetometru - un instrument de măsurare a câmpului magnetic în vecinătatea instrumentului. Este folosit pentru determinări ale geomagnetismului și biomagnetismului. Exemple de senzori integrați pentru determinarea atitudinii sunt prezentați în figura 1.

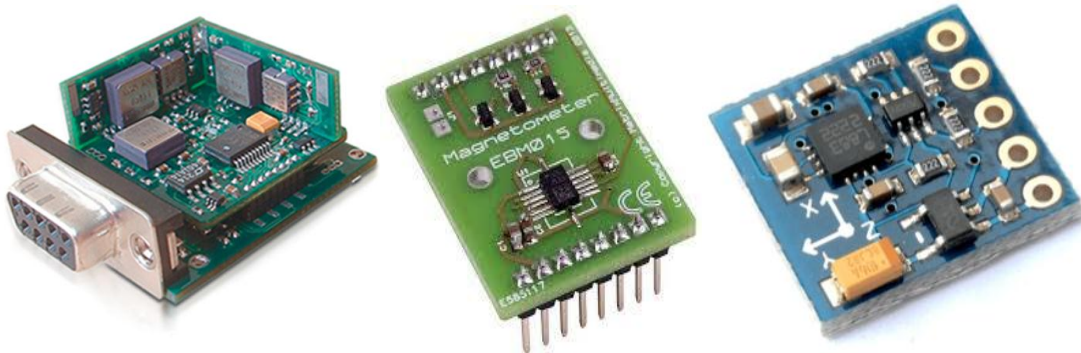


Fig. 1. Exemple de unități integrate - Inertial Measurement Unit (IMU) și magnetometru pe 3 axe tip HMC5883L.

Cea de a doua etapă, acționarea include controlul atitudinii nanosateliților. Acesta poate fi realizată prin mai multe mijloace și metode: roți de reacție, propulsoare chimice (chemical thrusters) și magnetorquere.

Un magnetorquer sau torque magnetic (cunoscut și sub denumirea de tija de cuplu) este un sistem prin satelit pentru controlul atitudinii, deturnare și stabilizare construită din bobine electromagnetice. Magnetorquer creează un dipol magnetic, care interferează cu un câmp magnetic ambiant, de obicei cu pământul, astfel încât contra-forțele produse asigură un cuplu util [4]. Un exemplu de magnetorquer este prezentat în fig. 2. Magnetorquer este rațional de aplicat în mai multe cazuri:

- pe orbite joase;
- pentru manevre inițiale;
- pentru desaturarea roților volante;



Fig. 2. Magnetorquer folosit pentru controlul atitudinii nanosateliților.

### Testarea și ajustarea sistemului de control atitudine

Calitatea și eficiența controlului atitudinii depinde de următorii factori:

- Precizia și rezoluția senzorilor magnetometrici;
- Puterea și eficiența magnetorkelor;
- Eficiența algoritmilor de control atitudine.

Prin urmare, sistemul de control atitudine necesită verificare în condiții foarte similare cu cele pe orbită. Acestea pot fi obținute cu ajutorul unui stand magnetic pe bază de bobine Helmholtz. Controlul câmpului magnetic poate fi efectuat de-a lungul unei axe a unei bobine Helmholtz care generează un câmp magnetic controlabil atunci când curentul parcurge prin ea.

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 n I}{R} \quad (1)$$

Unde  $R$  este raza bobinelor,  $n$  este numărul de spire în fiecare bobină,  $I$  este curentul care curge prin bobine, și  $\mu_0$  este permeabilitatea spațiului liber ( $1,26 \times 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m} / \text{A}$ ).

O bobină Helmholtz este un dispozitiv pentru producerea unei regiuni de câmp magnetic aproape uniform [5]. Se compune din două bobine magnetice circulare identice plasate simetric, câte una pe fiecare parte a zonei experimentale de-a lungul unei axe comune și separate de o distanță ( $h$ ) egală cu raza ( $R$ ) a bobinei. Fiecare bobină poartă un curent electric egal care curge în aceeași direcție. Există mai multe variante, inclusiv utilizarea bobinelor dreptunghiulare și a numărului de bobine altele decât două. Cu toate acestea, o pereche Helmholtz cu două colaje este modelul standard, cu bobine care sunt circulare și în formă și plate pe laturi. Într-un astfel de dispozitiv, curentul electric este trecut prin bobină în scopul creării unui câmp magnetic uniform [5].

Bobinele Helmholtz sunt utilizate pentru o varietate de scopuri, însă pentru cazul nostru o bobină Helmholtz este utilizată pentru a anula

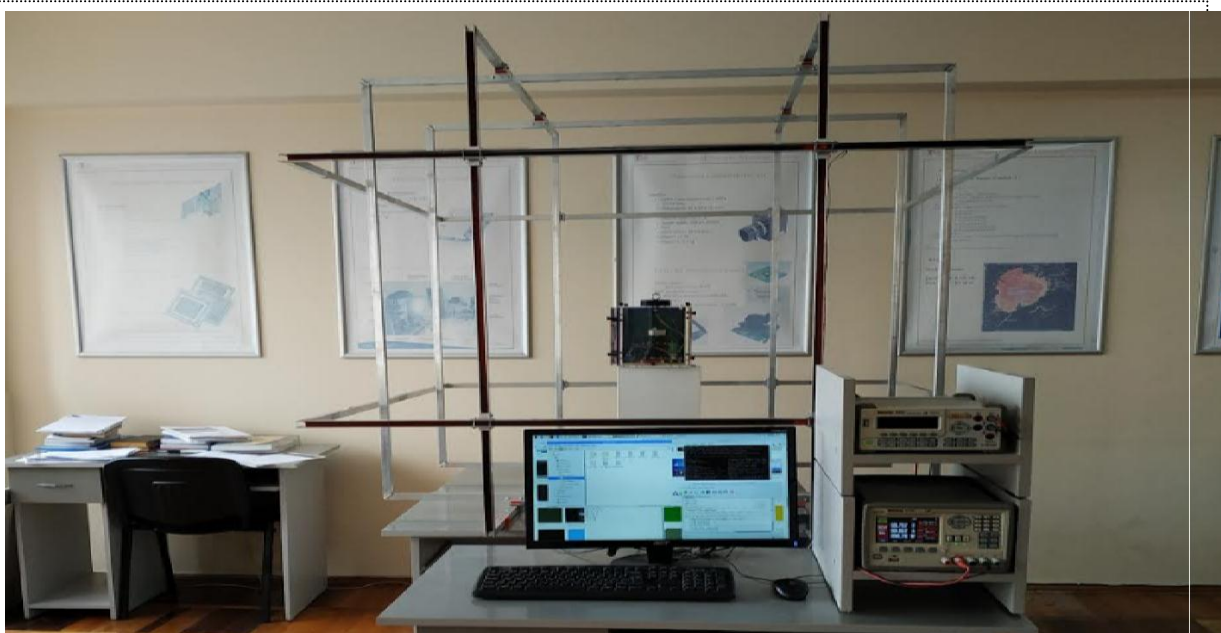
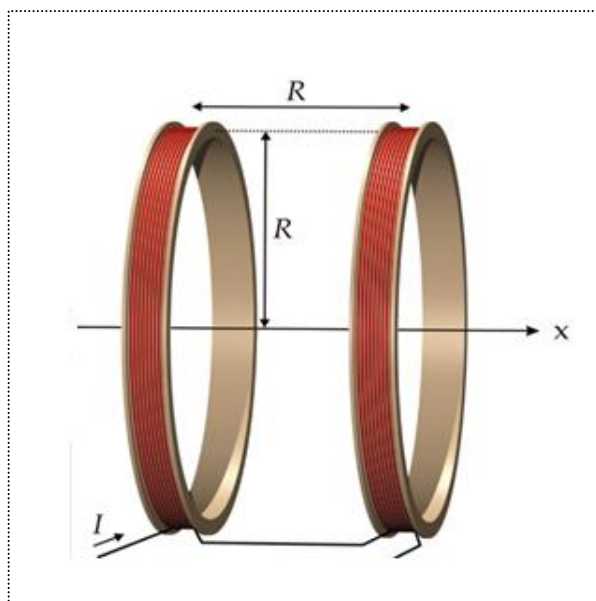


Fig. 3. Standul magnetic cu bobine Helmholtz realizat la (CNTS) Centrul Național de Tehnologii Spațiale, UTM.

câmpul magnetic al pământului, producând o regiune cu o intensitate a câmpului magnetic mult mai aproape de zero. Aceasta poate fi utilizată pentru a vedea cum funcționează încărcăturile electrice și câmpurile magnetice atunci când nu sunt acționate de atragerea gravitațională a Pământului sau a altor corpuri celeste.

După cum s-a menționat, scopul elaborării standului magnetic cu bobine Helmholtz, expus în acest articol este de a crea un sistem de comandă pentru automatizarea experimentelor de testare a controlului atitudinii nanosateliților în condiții foarte similare celor de pe orbită.

Controlul cu 3 axe a unui câmp magnetic poate fi realizat prin acest stand care generează un câmp magnetic în același mod ca bobina de control cu o singură axă. Cu toate acestea, standul folosește trei perechi de bobine care sunt ortogonale între ele pentru a controla câmpul magnetic în toate cele trei axe.

Standul magnetic a fost realizat, respectând următoarele cerințele:

1. Algoritmul de determinare a atitudinii trebuie implementat pe un CubeSat;
  2. Standul cu bobine Helmholtz va permite testarea CubeSat-ului, precum și posibilele modele CubeSat viitoare;
    - a) Standul trebuie să genereze o suprafață magnetică uniformă într-un volum suficient de mare pentru CubeSats cu posibilități de depanare;
    - b) Standul trebuie să poată simula un câmp geomagnetic dinamic pe orbită;
    - c) Câmpul generat trebuie să poată anula câmpul magnetic al pământului;
    - d) Standul magnetic trebuie să genereze un câmp magnetic suficient de mare pentru a asigura testarea dinamică a magnetometrului;
    - e) Standul trebuie să permită testarea viitoare a ADCS-ului.
- Ținând cont de cerințele de mai sus, s-a propus schema funcțională a sistemului de comandă a sistemului este prezentată în fig. 4.

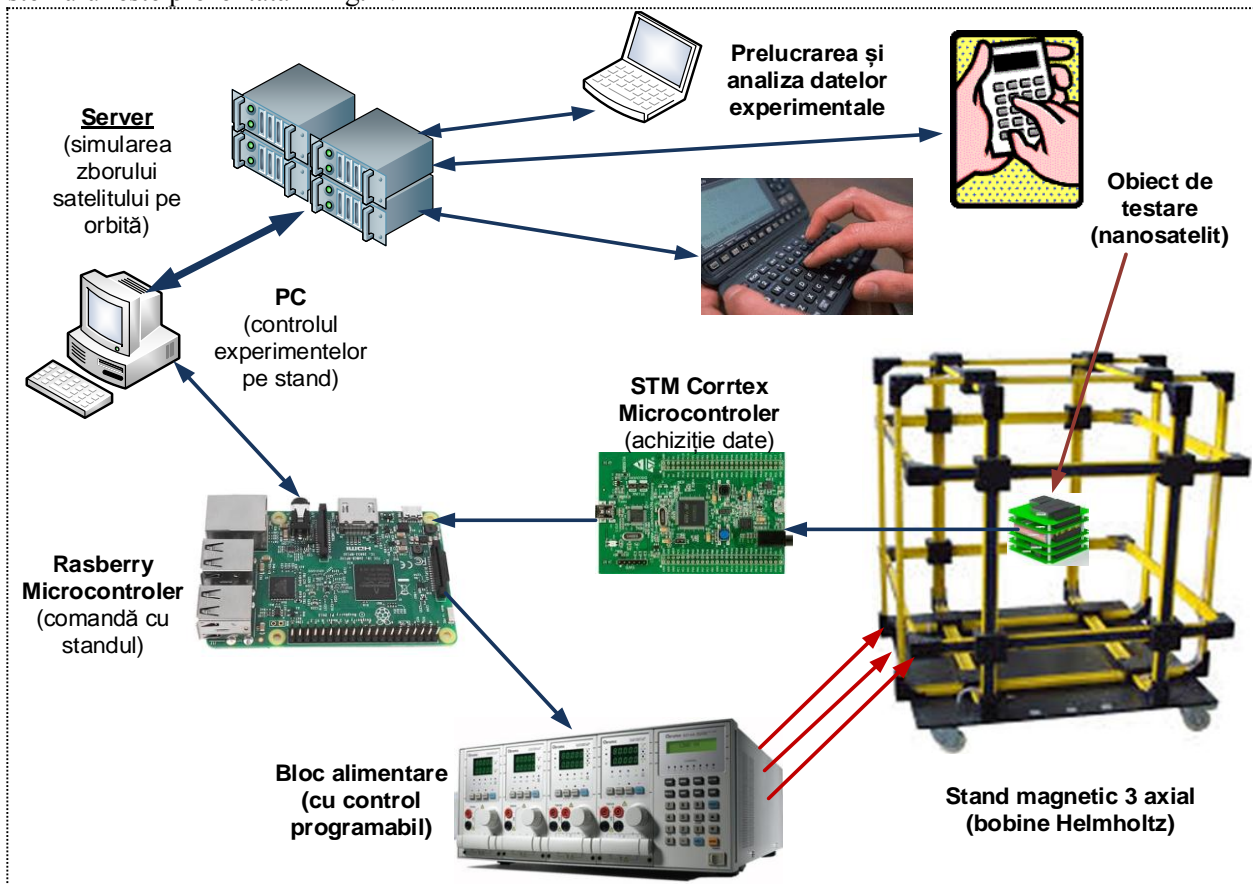


Fig. 4. Schema funcțională a sistemului de comandă.

Controlul dinamic al buclei închise al standului este realizat de un microcontroler tip STM, care are funcția de achiziția datelor și care este conectat cu un alt microcontroler tip Raspberry, care comandă cu acționarea standului. Microcontrolerul Raspberry obține de la PC valorile câmpului magnetic pe un set de puncte pe orbita satelitului. În baza acestor valori se calculează curenții  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$  pentru fiecare pereche de bobine, se dă comandă în formă digitală, care este convertită în valoare analogică cu un convertor digital cu trei canale (DAC), respectiv pentru trei axe. Fiecare canal DAC este conectat la un amplificator de putere, care furnizează curent bobinei pe baza intrării analogice recepționate de la DAC.

Atitudinea ce este calculată la bordul CubeSat, rezultatele și datele brute fiind stocate pe un computer pentru comparații și analize ulterioare, iar mai apoi încărcate și pe un server ce va face posibilă accesarea datelor de pe laptop, tabletă sau telefon.



Practic pentru toate tipurile de proceduri de testare a atitudinii pe acest stand magnetic este calibrarea senzorilor magnetici pentru eventuale erori/abateri ale acestora. Pe lângă achiziția de date, microcontrolerul STM se va ocupa și cu această misiune. Una din procedurile de calibrare va fi dezvoltarea unei aplicații cu două ferestre de vizualizare pentru a afișa date magnetometrice "prime" și calibrate ca în exemplu din figura 5.

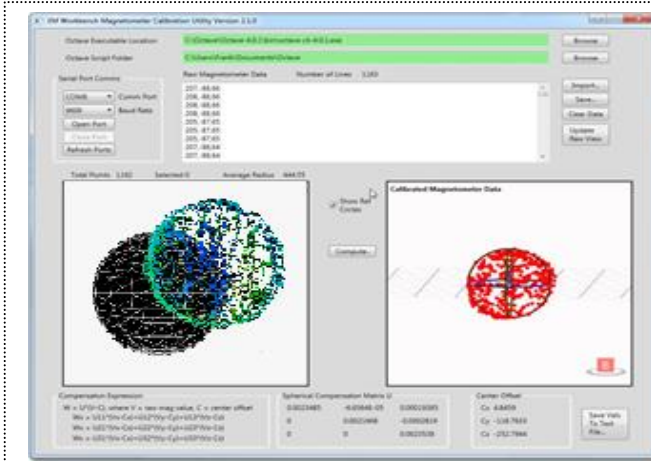


Fig.5. Aplicația de vizualizare a datelor de calibrare

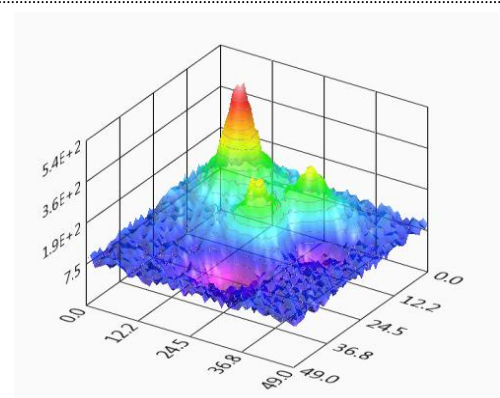


Fig. 6. Diagrama câmpului magnetic în jurul unui DC-DC converter

Cu astfel de platformă apare posibilitatea să testăm diferite amplasări a senzorului magnetometerului în carcasa satelitelui pentru a diminua maxim posibil influența pieselor metalice și a componentelor electrice active. În urma testelor realizate s-a stabilit că senzorul dat poate fi amplasat în două variante generale pe satelit. Prima variantă și cea mai des folosită de către producătorii de sateliți este de a găsi un loc în cadrul carcasei satelitelui cu un câmp magnetic cât mai linistit din punct de vedere a acționării roților volante și a magnetorquer-elor. Adică această localizare a senzorului trebuie să corespundă unui zgomot minim din partea carcasei, pieselor de conexiune în carcasa satelitelui care sunt din material fieros, placilor cu cablaj imprimat și componentelor active cum ar fi motoare electrice care generează un câmp magnetic în timpul funcționării lor sau chiar componentele de conversie a energiei electrice de pe bordul nanosatelitelui.

În a 2-a variantă de experimentare este de determinarea valorii minime care influențează calculul atitudinii. Experimentele și cercetările au arătat că este posibil să se compenseze anumite fluctuații și erori ale câmpului magnetic determinat de senzor, fie prin schimbarea parametrilor lui de funcționare a senzorului, cât și prin aplicarea algoritmilor de compensare a erorilor. Determinarea minimumului de influență este prezentată în figura 6. Platforma dezvoltată permite extinderea funcționalităților prin dezvoltarea aplicațiilor software atât pe calculatorul de comandă, cât și pe server pentru prelucrarea datelor experimentale și prezentarea lor în formă grafică, cât mai accesibilă utilizatorului, fig. 7.

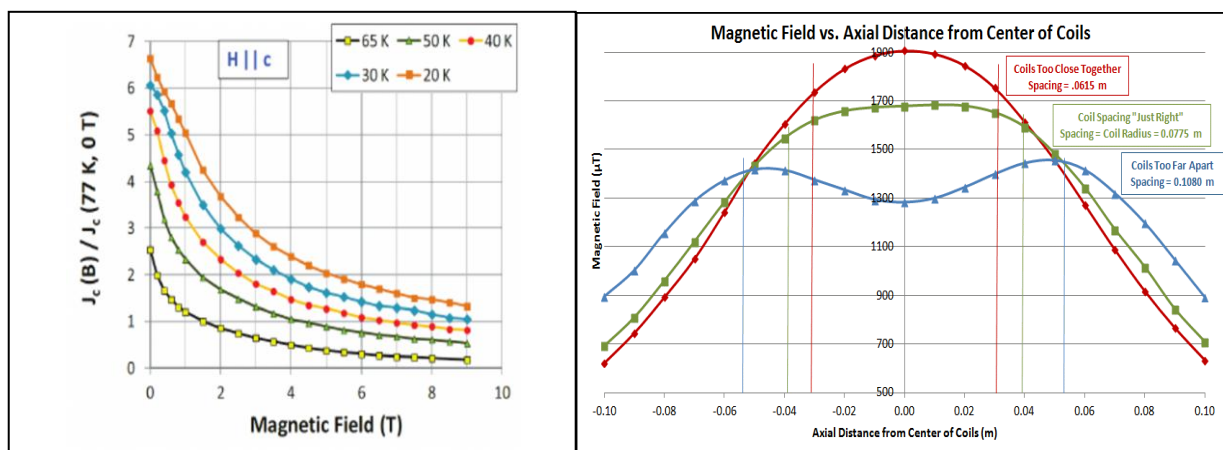


Fig.7. Prelucrarea datelor experimentale.

## Concluzii

Elaborarea microsistemului de comandă pentru standul magnetic permite efectuarea testelor/experimentelor de simulare a câmpului geomagnetic, pe care un satelit îl poate avea pe orbită. Automatizarea experimentelor de testare cu posibilități de alegere a diferitor scenarii de la calculator va permite găsirea soluțiilor eficiente legate de controlul atitudinii sateliților. De asemenea, platforma propusă dă posibilitatea să testăm diferite dispozitive din alte domenii, care au senzori magnetici cu posibilități de calibrare a acestora.

## Bibliografie

1. Ion Bostan, Viorel Bostan, Nicolae Secrieru, Sergiu Candraman, Andrei Margarint. Dezvoltarea Tehnologiilor Satelitare în Cadrul Universității Tehnice a Moldovei. - In: *The 9<sup>th</sup> International Conference on Microelectronics and Computer Science & The 6<sup>th</sup> Conference of Physicists of Moldova*, Chișinău, Republic of Moldova, October 19-21, 2017, pp. 134-142.
2. What are Cubesats? – In: <https://www.universetoday.com/82590/cubesat/>
3. CubeSats: Tiny Payloads, Huge Benefits for Space Research – In: <https://www.space.com/34324-cubesats.html>
4. Spacecraft magnetometer – In: <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetorquer>
5. A multi-purpose 3D-Helmholtz-Coil for high accuracy measurements – In: [www.diamond.ac.uk/Conference/dms/.../O%20Dunkel.pdf](http://www.diamond.ac.uk/Conference/dms/.../O%20Dunkel.pdf)
6. Nicolae Secrieru, Nicolae Levineț, Sergiu Candraman, Ilco Valentin, Adrian Girsan, Andrei Margarint. TUMnanoSat family for diverse educational space mission. - In: *The 9<sup>th</sup> International Conference on Microelectronics and Computer Science & The 6<sup>th</sup> Conference of Physicists of Moldova*, Chișinău, Republic of Moldova, October 19-21, 2017, pp. 143-150.
7. Candraman, S., Secrieru, N. Cercetarea amplasării senzorului de câmp magnetic pe bordul satelitului SATUM - In: *Proceeding of the 5th International Conference "Telecommunications, Electronics and Informatics"*, May 20-23, 2015, Chișinău, Vol. 1, pp. 427-430. ISBN 978-9975-45-377-6.