

Universitatea “Ștefan cel Mare” din Suceava

Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor

Domeniul: Inginerie electronică, telecomunicații și tehnologii informaționale

TEZĂ DE DOCTORAT

**Contribuții la dezvoltarea unor stații de sol pentru
recepția sateliților**

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. univ. dr. ing. Adrian GRAUR

DOCTORAND:

Ing. Adrian DONE

Suceava, 2019

Această lucrare a fost susținută parțial:

- cu sprijinul financiar al proiectului "Doctrina europeană de calitate - EURODOC", Contract nr. POS-DRU / 187 / 1.5 / S / 155450, proiect cofinanțat de Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial "Dezvoltarea resurselor umane" 2007-2013.

- de un grant al Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică și Inovare, UEFISCDI, număr de proiect PN-III-P2-2.1-PED-2016-2011, contract 36 PED / 2017, în cadrul PNCDI III. Infrastructura utilizată în această lucrare a fost susținută din proiectul "Centru integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru Materiale Avansate, Nanotehnologii și Sisteme Distribuite de fabricație și control" (Acronim MANSiD), Contractul nr. 671/09.04.2015, Programul Operațional Sectorial pentru Creșterea Competitivității Economice cofinanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională.

- de un grant al Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică și Inovare, UEFISCDI, număr de proiect PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0917, contract 21 PCCDI/2018, cu PNCDI III

- de un grant al CNFIS prin proiectul CNFIS-FDI-2018-058.

Cuprins

1.1 Motivație	5
1.2 Obiectivele cercetării	6
1.3 Structura tezei	6
2. Stații de sol	7
2.1 Prezentare generală	8
2.2 Antene folosite în tehnica spațială	11
2.2.1 Antene directive	11
2.2.2 Antene omnidirecționale	12
2.3 Echipamente radio	14
2.4 Preamplificatorul cu zgomot mic.....	15
2.4.1 Măsurarea factorului de zgomot al preamplificatorului	15
2.4.2 Realizarea practică a unor preamplificatoare cu zgomot mic	16
2.4.3 Folosirea receptorului RTL-SDR pentru măsurători.....	17
2.5 Măsurarea orizontului radio al stației de sol.....	18
2.6 Filtre	19
2.6.1 Filtru interdigital	19
2.6.2 Filtre LC	21
2.7 Software utilizat la stația de sol.....	22
2.8 Rezultate obținute	24
2.8.1 FUNcube-1	24
2.8.2 Nayif-1	25
2.8.3 ISS	25
2.8.4 Analiza pachetelor de date recepționate de la sateliții FUNcube.....	26
2.8.5 Satelitul geostaționar Es'hail-2	27
3 Simulator de satelit	29
3.1 Testarea stațiilor de sol.....	30
3.2 Schema bloc	31
3.3 Calculul puterii de radiofrecvență necesare în antenă.....	32
3.4 Puterea electrică disponibilă	32
3.5 Oscilatorul de referință cu compensarea activă a frecvenței.....	34
3.6 Frecvențe necesare - Circuitele PLL	38
3.7 Calculatorul de bord al simulatorului de satelit	39
3.8 Recuperarea semnalelor înecate în zgomot	40
4. Concluzii si perspective viitoare	41
Abrevieri	46
Bibliografie.....	50

1. Introducere

În teza de față sunt prezentate aspectele teoretice și rezultatele experimentale obținute pe parcursul construcției a două stații de sol satelitare și a unui simulator de satelit. Simulatorul este un sistem care se comportă ca un satelit (transmite informații de la bord, putând primi comenzile necesare pentru funcționarea sa), fără a fi proiectat să fie lansat în spațiu. Scopul acestuia este atât pentru verificarea unor componente din cadrul stațiilor de sol satelitare, cât și pentru pregătirea personalului acestor stații.

În timp, odată cu dezvoltarea unor noi misiuni care să fie urmărite prin stațiile de sol, simulatorului de satelit i se pot impune noi cerințe (noi moduri de lucru sau noi benzi de frecvențe). Se ajunge astfel la o dezvoltare recurentă între stația de sol și simulatorul de satelit aferent.

1.1 Motivație

De obicei, atunci când se vorbește despre misiuni spațiale sau despre tehnică spațială, ne gândim la sateliți, rachete pentru plasarea lor în spațiu, misiuni interplanetare etc. Este adesea trecută cu vederea o componentă cel puțin la fel de importantă: segmentul de la sol. În general, acesta este compus dintr-un Centru de Control al Misiunii (adesea notat MCC – *Mission Control Centre*, în limba engleză) (vezi Figura 1) și una sau mai multe stații de sol (GS – *Ground Station*), distribuite pe tot globul. Toate acestea sunt legate între ele prin linii de comunicație terestre sau satelitare.



Figura 1 Centrul de Control al Misiunii de la ESA (imagine: ESA)

În momentul de față (noiembrie 2018) în catalogul USSPACECOM sunt înregistrate un număr de peste 43000 obiecte diferite care se învârt în jurul pământului. Nu înseamnă că toate acestea sunt misiuni spațiale. O parte din ele sunt misiuni active sau terminate, dar și alte obiecte "inerte", precum trepte purtătoare, fragmente (de la dimensiunea de 1 cm în sus) sau misiuni eșuate. Toate acestea trebuie urmărite, evitând coliziuni cu misiuni ulterioare (coliziuni care ar putea genera un număr și mai mare de fragmente, precum s-a întâmplat după coliziunea dintre sateliții Iridium 33 și Cosmos 2251, în 2009). Se pune problema segmentului de la sol, doar în cazul acelor obiecte care sunt active, care au la bord emițătoare radio (eventual receptoare) și care transmit date sau semnale.

Misiunile spațiale se pot împărți pe diferite categorii, după criterii diferite: civile - militare, comerciale - științifice, comunicații - testare tehnologică etc. Există o strânsă legătură între categoriile de misiuni spațiale și structurile segmentului de la sol. Numărul sateliților activi

este în creștere, într-un ritm accelerat. În Figura 2 este redată numai situația sateliților de tip CubeSat (între 2002 și 2018 s-a depășit cifra de 860 sateliți lansați), dar situația este asemănătoare și în cazul celorlalți sateliți.

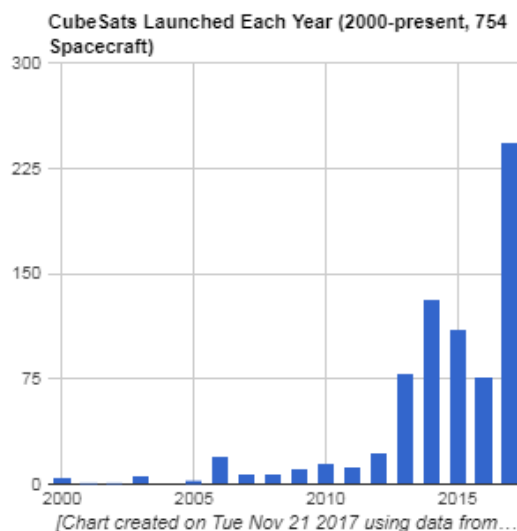


Figura 2 Evoluția numărului de sateliți de tip CubeSat lansați anual [3]

Deoarece marea lor majoritate sunt cu orbită joasă (LEO), suprafața de la sol acoperită cu semnal este relativ mică, iar trecerea lor prin zona unei stații de sol date se petrece în intervale de timp de ordinul a 10 minute. În vederea maximizării cantității de date recepționate, se observă necesitatea construirii a cât mai multe stații de sol, aflate într-o colaborare strânsă între ele. Dezvoltarea rețelilor de stații de sol are de asemenea și o puternică componentă educațională.

Un alt aspect important este menținerea acestor stații în stare de funcționare, la parametrii specificați. La fel de importantă este de asemenea pregătirea personalului acestora. Deoarece sateliții au treceri prin aria de acces a unei stații de sol date pe perioade relativ mici, se propune construirea unui simulator de satelit, atât cu scopul testării aparaturii cât și a pregătirii personalului, în perioadele în care nu avem sateliți în raza lor de recepție-emisie.

1.2 Obiectivele cercetării

Obiectivele principale de explorat au fost următoarele:

- configurații minimale ale unor stații de sol;
- noi configurații de antene omnidirecționale folosibile la stații de sol minimale;
- filtre și preamplificatoare de semnal mic;
- rezultate obținute la recepția unor sateliți LEO sau geostaționari;
- surse de energie cu panouri solare și stocarea energiei în supercapacitori;
- folosirea condensatoarelor cu BST în oscilatoare de frecvență relativ mică (până la 450 MHz);
- circuite adaptive de recuperare a datelor din zgomot, folosind circuite cu histerezis.

1.3 Structura tezei

Deoarece în Suceava nu exista nici o stație de sol, au fost configurate două stații de sol de test în Suceava. Prima stație a fost realizată într-un garaj din curtea CSTA Suceava, iar a doua a

fost la Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, în corpul C. S-au analizat următoarele aspecte: arhitectura stațiilor de sol realizate, influența locației geografice a stațiilor de sol asupra parametrilor acestora, folosirea receptoarelor SDR de tip RTL-SDR și RSP2 pentru măsurători, analiza antenei Ground Plane ca antenă de referință, analiza antenei Discone, analiza antenei verticale cu lungimea de $\frac{3}{4} \lambda$ și polarizor circular parazit, măsurarea unor filtre (filtru cu lungimea electrică de $\lambda/2$, filtru interdigital și filtre LC) și preamplificatorul cu zgomot mic de la recepție. În plus au fost instalate și folosite o serie de componente *software* specifice.

În a doua parte a tezei a fost analizat comportamentul unor blocuri din simulatorul de satelit. Astfel a fost analizată schema bloc în faza actuală de construcție și au fost prezentate rezultatele experimentale obținute de sursa de energie (cu panouri solare și supercapacitori). În continuare, au fost prezentați parametrii oscilatorului de referință cu stabilizare activă (folosit ca tact atât pentru circuitul de ceas/calendar, cât și pentru generarea frecvențelor de emisie și de recepție) și s-au descris realizarea și performanțele circuitului de ceas/calendar, dar și ale oscilatorului cu PLL care generează frecvența de lucru de la recepție. La sfârșit este prezentat circuitul de recuperare a semnalelor digitale înecate în zgomot, folosite la recepția comenzilor. Acesta este un comparator cu histerezis, cu parametrii adaptabili. Fiecare bloc funcțional din simulatorul de satelit a fost analizat din punctul de vedere al încadrării în limitele sursei de alimentare propuse.

În cadrul studiilor efectuate în cadrul tezei au fost folosite o serie de microprocesoare programate corespunzător destinate unor scopuri țintă.

2. Stații de sol

Stația de sol - (în engleză: „*ground station*“ sau „*earth station*“) este o stație de radiocomunicații folosită pentru urmărirea, recepția sau/și controlul unor sateliți de comunicații sau cercetare. Prin extensie, noțiunea este folosită și în cazul urmăririi sau controlului și altor obiecte zburătoare precum avioane telecomandate, cuadrocoptere etc.

În ultimii ani au fost lansate sute de misiuni mici, organizate de universități, radioamatori sau chiar grupuri de pasionați. Asemenea misiuni nu își pot permite plata folosirii stațiilor de sol ale agențiilor spațiale (NASA percepe un tarif de aproximativ 340 dolari pentru datele recepționate de la un satelit LEO în cursul unei treceri de maxim 15 minute). Multe din ele au câte un singur satelit de tip CubeSat, lansat, de multe ori, pe post de „*dummy load*“, adică de test a unor rachete noi, sau ca sarcină suplimentară pentru misiuni mari. În aceste condiții „proprietarul“ satelitului nu are decât două soluții: lucrează singur, caz în care are foarte puțin timp de contact cu satelitul (zeci de minute pe zi) sau caută colaboratori răspândiți pe glob.

Pentru cea de-a doua variantă există deja mai multe tendințe, care nu depind de partea financiară ci mai mult de partea organizatorică și de abordare. Prima mișcare în această direcție pentru comunicația cu solul este folosirea benzilor de radioamatori. Aici se folosesc de prevederea legală că în banda de 70 cm se permite autorizarea unor stații experimentale spațiale în zona de frecvențe cuprinsă între 435 până la 438 MHz. Această alegere are două efecte pozitive asupra cantității de date recepționate de la un satelit dat: existența unor echipamente de recepție performante, la nivel mondial, și existența unor operatori calificați, pasionați de comunicații radio, care trebuie numai „cointeresați“ prin mijloace nefinanciare (diplome, concursuri, campanii de informare bine gândite etc.). Un exemplu îl constituie seria de sateliți educaționali (și de radioamatori) de tip FUNcube, care a pus la dispoziția amatorilor

(nu neapărat radio-amatori) un server în care se depozitează datele recepționate de la satelit. S-a profitat și de un *software* pentru utilizator foarte prietenos și de o schemă de modulație care permite *software*-ului să compenseze automat deviația de frecvență datorată efectului Doppler.

Un alt avantaj al colaborării cu radioamatorii a fost demonstrat în cazul a două misiuni științifice, care doreau să primească comenzi și să transmită rezultatele obținute folosind benzile de radioamatori. Din diverse motive, acești sateliți, odată eliberați în spațiu, nu au mai răspuns la nici o comandă. S-a constatat că aceștia nu răspundeau din cauză că nu și-au mai întins antenele. Soluția a fost folosirea unei stații de radioamatori destinate comunicațiilor prin reflexie pe Lună (EME) pentru a da comenzile necesare. Aceste stații au antene cu câștig foarte mare și deci o putere aparent radiată ridicată foarte mare. Dacă nu erau folosite frecvențele de radioamatori, sateliții respectivi ar fi fost pierduți.

2.1 Prezentare generală

Indiferent de rețeaua de stații de sol, stațiile componente trebuie să conțină o serie de elemente comune: antene, receptoare, emițătoare, sisteme de calcul etc. Au fost realizate două asemenea stații de sol la Suceava cu scopul de a confirma viabilitatea anumitor concepte și tehnologii. În Figura 3 este prezentată amplasarea celor două stații. În dreapta sus este stația independentă (notată St.ind.), iar în stânga este stația de la Universitatea Suceava, cu cele două receptoare, cel de bandă largă (St.USV rx1) și cel din banda de 10,5 GHz (St.USV rx2).

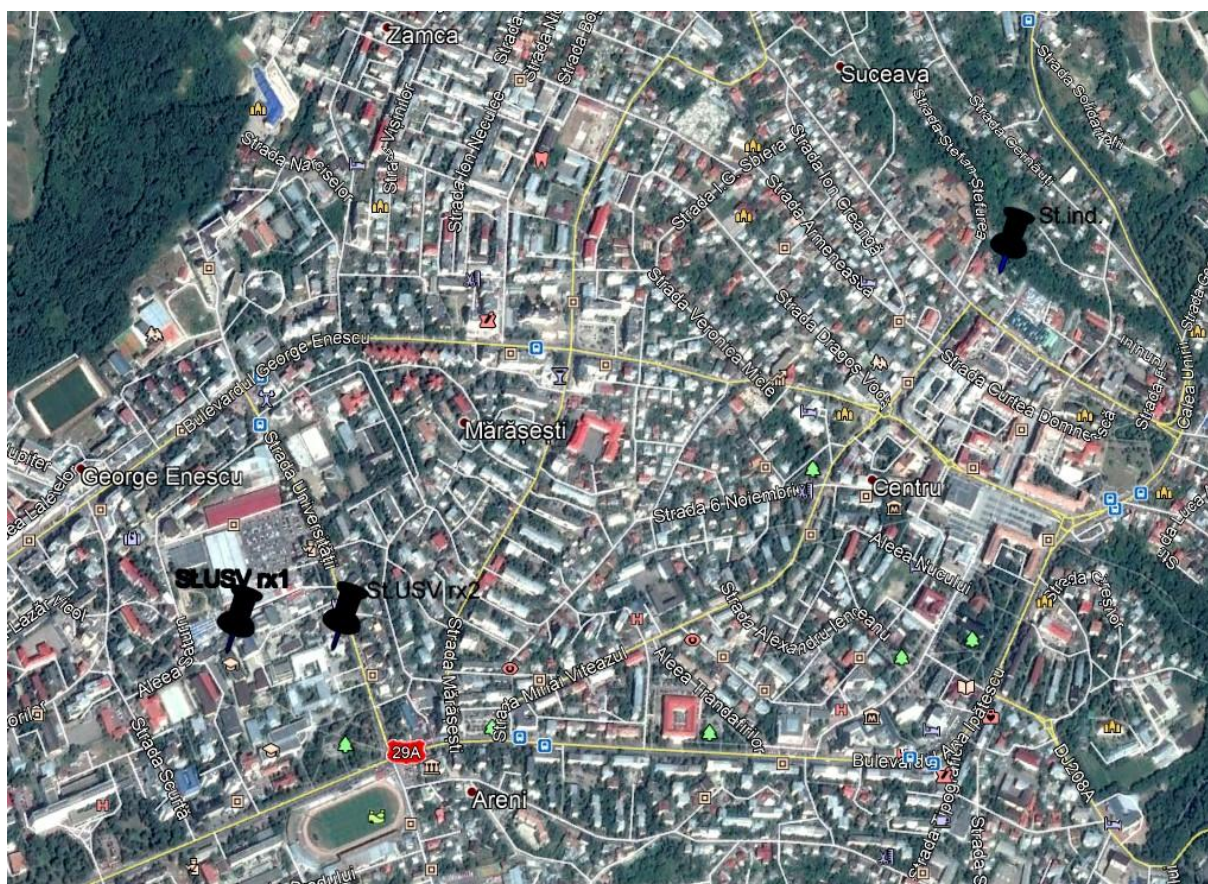


Figura 3 Amplasarea stațiilor de sol testate din orașul Suceava [AD, folosind Google Earth]

Stația de sol independentă

Arhitectura primei stații de sol, în forma ei actuală, este ilustrată în Figura 4. Stația fost concepută cu scopul de a permite recepția unor sateliți universitari și de amatori, care folosesc benzile de frecvență alocate radioamatorilor, de 145 și respectiv 436 MHz. Odată cu lansarea unui satelit geostațional (care a fost mereu amânată din diferite motive), se prevede montarea echipamentelor de emisie în banda de 2400 MHz și de recepție în banda de 10500 MHz, împreună cu două antene suplimentare. Pe lângă sprijinul acordat misiunilor satelitare (prin recepția și transmiterea prin Internet a datelor recepționate către MCC), stația de la sol poate fi utilizată și în scopuri educaționale.

În acest moment, stația de sol este capabilă să comunice folosind benzile de 145 și 436 MHz, folosind o antenă *Ground Plane* cu lungimea de $\lambda/4$ și un prototip de antenă cu lungimea de $3/4 \lambda$ cu polarizare circulară și polarizori parazitici. [5] Amplificatorul LNA oferă un câștig de 20 dB la un zgomot intern de 1,5 dB. Apoi, semnalul trece printr-un filtru de bandă, unde o parte a zgomotului exterior este eliminată. Ca receptor, se folosește un echipament RTL2832U, în tehnologie SDR. Un al doilea calculator este utilizat pentru a determina traiectoriile sateliților, furnizând date privind poziția lor în spațiu (adică azimutul și elevația), date privind frecvențele de emisie și recepție, precum și datele necesare pentru a compensa variațiile de frecvență datorate efectului Doppler. Cele două calculatoare sunt conectate la Internet, pentru a livra datele recepționate de la satelit și pentru sincronizarea ceasului. Având în vedere tendința actuală către tehnologii ecologice, stația de sol este alimentată cu ajutorul panourilor solare fotovoltaice.

Unul dintre obiectivele principale urmărite a fost acela de a confirma viabilitatea anumitor concepte și tehnologii. [4] Sunt în desfășurare activități de creștere a performanțelor stației de sol. O îmbunătățire ar fi montarea unor antene directive cu orientare azimut/elevație.

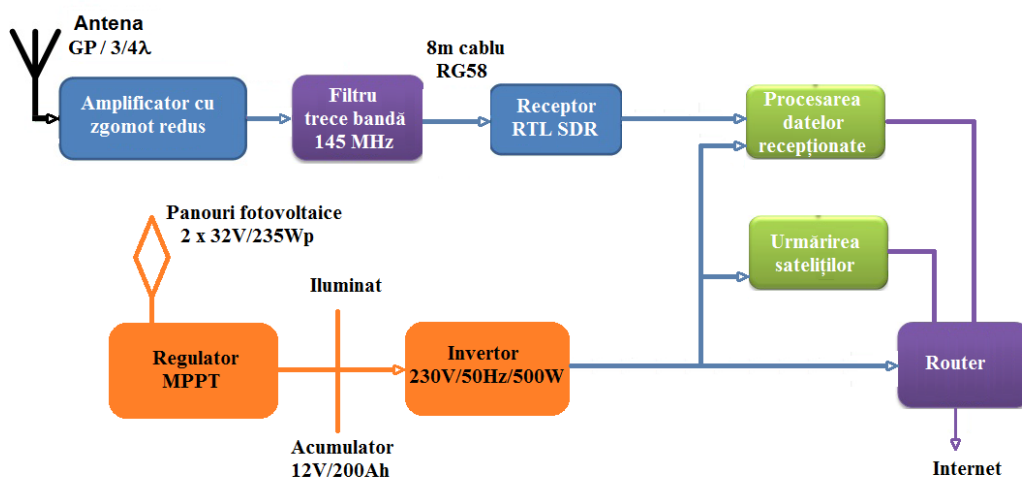


Figura 4 Schema bloc a stației de sol independente [AD]

Stația de sol cu activare de la distanță

Având în vedere faptul că majoritatea sateliților se află pe orbite LEO (adică la 500 până la 1500 km deasupra Pământului), devine importantă dezvoltarea unei rețele de stații de sol, distribuită uniform pe suprafața Pământului, ceea ce ar permite o recepție eficientă a datelor de la sateliți. [8] În acest context și având în vedere dezvoltarea impresionantă a tehnologiei SDR, stațiile de sol se pot accesa de la distanță, prin Internet, cu ajutorul rețelelor definite software [9] - [11].

Comparativ cu stațiile clasice, stațiile cu acces de la distanță permit un control total de la distanță, o recepție îmbunătățită a datelor și un design destul de simplu. Astfel, cunoscând locația unui satelit, datele sale pot fi recepționate ca atare de stație în suprafața sa de acoperire, în timp ce acesta se deplasează deasupra Pământului. Deci, legătura cu satelitul se poate realiza doar prin schimbarea stației de sol la fel de facil precum accesarea unui *site web*.

O asemenea stație necesită un receptor SDR conectat la Internet. Spre deosebire de receptoarele clasice, sistemul permite utilizatorilor să regleze receptorul de la distanță, pe frecvența dorită, independent de ceilalți utilizatori. Acest concept (WebSDR) a fost inițial dezvoltat în 2007, cu scopul de a permite accesul global la telescopul radio de 25 m de la Dwingeloo (Olanda). Deoarece interesul pentru acest proiect a crescut, au devenit disponibile servere WebSDR, în special pentru uzul radioamatorilor. Astăzi sunt disponibile liste cu receptoare SDR cu acces de la distanță, disponibile prin Internet [12], [13]. Arhitectura unei asemenea stații de sol este destul de simplă, implicând un calculator cu un *software* dedicat, o conexiune la Internet rapidă și *hardware*-ul clasic al unei stații de sol.

În contextul menționat mai sus, se descrie punerea în funcție a unei stații de sol cu acces de la distanță pentru recepția de la distanță a sateliților LEO, localizată în municipiul Suceava, la Radio Clubul Universității din Suceava. [18]

Similar cu stația precedentă, această stație cu acționare de la distanță este destinată recepției semnalelor sateliților universitari și de amatori, folosind în general benzile de frecvență alocate amatorilor radio: 146, 436, 1290 și care au o orbită joasă (Figura 5). Stația este echipată cu o antenă cu caracteristică de directivitate circulară, de bandă largă, potrivită scopului: acoperirea unei game largi de frecvențe, fără nici un fel de comutare, în gama de frecvențe de la 24 MHz la 1.7 GHz.

Sistemul poate fi folosit și pentru recepția altor semnalelor radio, în scopuri educaționale, de testare sau de cercetare, în gama frecvențelor amintite. Sistemul este accesibil prin Internet de către părțile interesate: studenți, profesori, cercetători. Se pot recepționa transmisii de la baloane stratosferice, în benzile VHF sau UHF (radiosonde și baloane de înaltă altitudine), deschideri de propagare de tip Es (*Sporadic E* – reflexii pe stratul ionosferic E), detecția radio a meteorilor în banda frecvențelor de la 50 MHz la 100 MHz, precum și recepția altor tipuri de comunicații.

În plus, sistemul poate servi ca un ghid practic pentru dezvoltarea altor asemenea stații, încurajând și contribuind la evoluția rețelei de stații de sol. Dat fiind că accesul la acesta este public, el poate fi folosit nu numai de către studenții de la Universitatea din Suceava, dar și din alte țări, pur și simplu prin conectarea la adresa [14].

După lansarea satelitului Eshail-2 și declararea sa ca fiind operațional, a fost instalat un nou receptor destinat numai acestui satelit. Este vorba de o antenă parabolică, un LNC pentru televiziune, urmat de un RTL-SDR, un Raspberry Pi3 cu acces de la distanță.

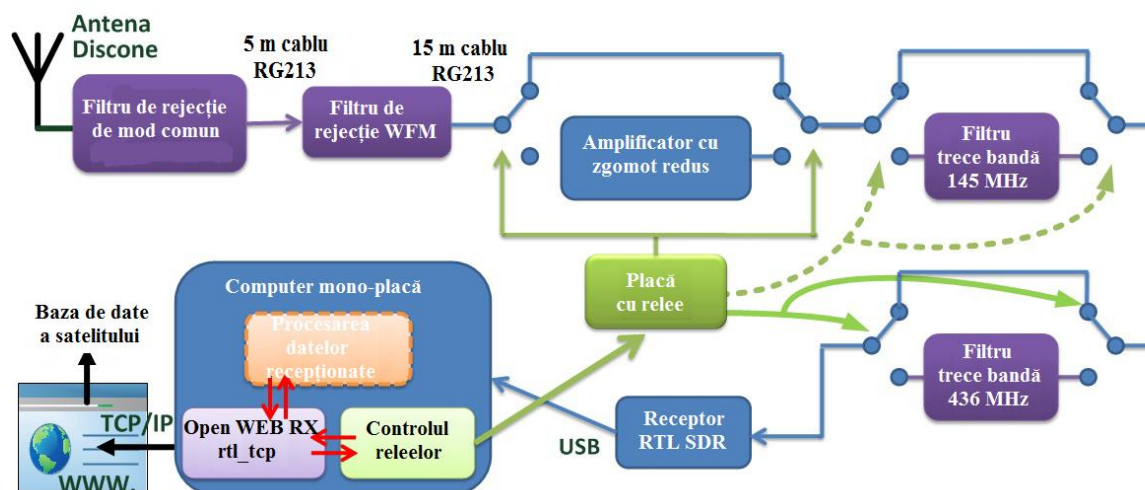


Figura 5 Schema bloc a stației de sol cu acces de la distanță [AD]

2.2 Antene folosite în tehnica spațială

În comunicațiile spațiale se folosește o gamă largă de antene, în funcție de buget, de câștigul de putere necesar, de caracteristica de radiație necesară, de considerente mecanice etc. Aproape orice tip existent de antenă poate fi folosit, cu rezultate mai bune sau mai slabe. În Tabelul 1 sunt enumerate o serie de antene folosite mai frecvent.

Tabelul 1 Diferite tipuri de antene folosite în tehnica spațială

Tip	Polarizare	Câștig	Diagramă	Observații
<i>Parabolică</i>	Lineară / circulară	Mare (până la 30dB)	Directivă	Peste 1GHz
<i>Yagi-Uda</i>	Lineară	Mediu spre mare (3-30dB)	Directivă	Polarizarea circulară se poate obține conectând 2 antene
<i>Log periodică</i>	Lineară	Mediu (6-10 dB)	Directivă	Bandă largă
<i>Helicoidală</i>	Circulară	Mediu spre mare (11-19 dB)	Directivă	Polarizare fixă (dreapta sau stânga)
<i>Horn</i>	Lineară	Mare (6-10 dB)	Directivă	Folosită adesea ca "Iluminator" la antenele parabolice de bandă largă
<i>Panou</i>	Lineară / circulară	Mediu spre mare	Directivă	Potrivit la frecvențe înalte (în general peste 1GHz); materiale ceramice
<i>X-Quad</i>	verticală, orizontală, circulară sau diagonală	Mediu spre mare	Directivă	Schimbarea polarizării se poate face prin releu de la distanță
<i>Ground Plane</i>	Lineară vertical	Mic	Omnidirecțională	Ca antenă de referință
<i>Turnstile</i>	Lineară / circulară	Mic	Omnidirecțională	Lobi verticali cu polarizare circulară și lineară spre orizont
<i>Eggbeater</i>	Circulară	Mic	Omnidirecțională	Lobi plați
<i>Lindenblad</i>	Circulară		Omnidirecțională	Lobi orizontali
<i>$\frac{3}{4}\lambda$ cu polarizor circular parazit</i>	Circulară		Omnidirecțională	Lobi orizontali, construcție simplă
<i>Discone</i>	Lineară vertical	Mic (~3dB)	Omnidirecțională	Bandă largă (10:1)

2.2.1 Antene directive

În tehnica spațială antenele directive sunt folosite în primul rând datorită câștigului lor pe o anumită direcție. Acest câștig este util deoarece distanțele dintre sateliți și stațiile de sol sunt mari, iar energia avută la dispoziție este de multe ori limitată. Alegerea acestor antene în cazul sateliților și a stațiilor de sol este determinată de factori diferiți. În cazul sateliților, antenele directive nu pot fi folosite decât la sateliți cu atitudine controlată. În schimb la stațiile de sol se utilizează mai mult antenele directive. În aceste cazuri nu se pun atât de stringente problemele dimensiunii, greutateii, orientării sau tehnologiei.

2.2.2 Antene omnidirecționale

Distanța dintre stațiile de sol și sateliții LEO, atunci când sunt în raza lor de activitate, este cuprinsă între aproximativ 500 și 2500 km. Datorită avansului tehnologic în domeniul receptoarelor, este posibil în zilele noastre să folosim antene omnidirecționale pentru comunicații spațiale. Acestea au avantajul că nu necesită un sistem mecanic complicat pentru orientarea în spațiu.

Analiza antenei Ground Plane ca antenă de referință

Încă din perioada primilor sateliți a fost propusă o metodă de a ridica caracteristica de directivitate a unei antene folosind sateliții. [17] Această problemă poate fi rezolvată cu ajutorul unei antene de referință bine definite și a măsurării raportului de putere dintre aceasta și antena de analizat. Au fost utilizați cu succes sateliții LEO ORCOMM și NOAA, care funcționează în banda de frecvențe de 137 MHz, precum și constelațiile de sateliți MEO GNSS (GPS, Glonass, Baidu, Galileo), la frecvențe mai mari. Dacă în exemplele de mai sus, sateliții au atitudinea controlată, în acest capitol s-a evaluat o antenă *Ground Plane* ca antenă de referință, utilizând semnalele de la sateliți care au atitudinea variabilă (se rotesc cel puțin în jurul uneia din axele lor). [18]

Folosind programul de urmărire a sateliților (*tracking*) cu numele *Orbitron* [19], s-au considerat trecerile unor asemenea sateliți.

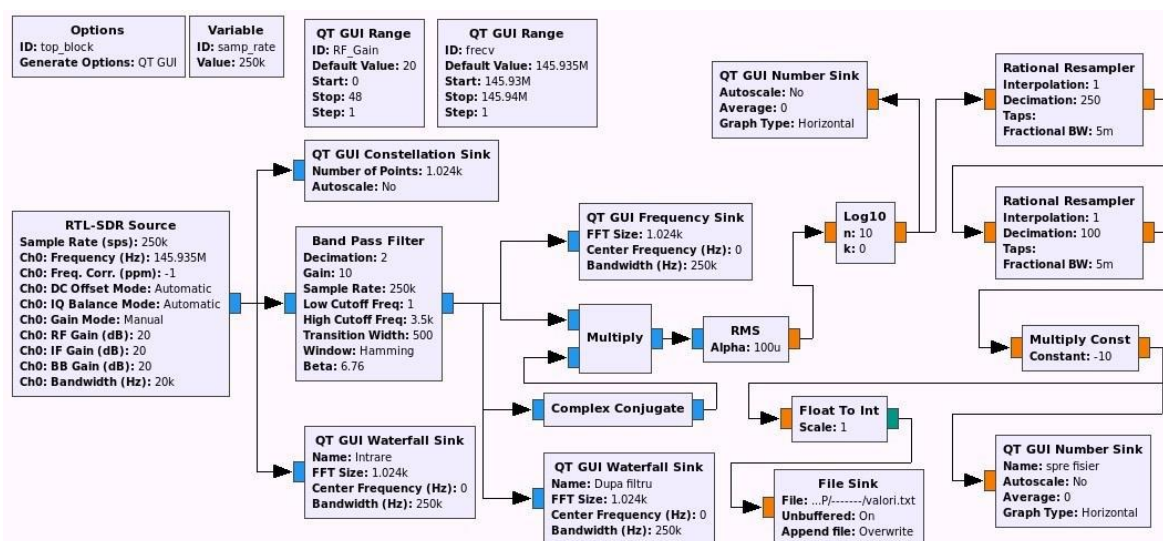


Figura 6 Diagrama GNU Radio Companion - măsurarea nivelului semnalului [5] [AD]

Ca antenă de referință a fost analizată o antenă de tip *Ground Plane* cu lungimea de $\lambda/4$ în banda de 146 MHz. [18] A fost folosit un receptor RTL-SDR conectat la un calculator prin aplicația GNU Radio Companion sub Linux. În acest scop a fost folosită diagrama din Figura 6. Astfel, semnalul de la receptorul SDR trece printr-un filtru cu banda de 7 kHz pentru a elimina zgomotul. A fost aleasă această valoare pentru a nu fi necesară compensarea abaterii de frecvență datorate efectului Doppler (la 146 MHz efectul Doppler produce o variație totală a semnalului de aproximativ 6 kHz). Astfel, variația puterii semnalului la bornele antenei se poate obține prin înmulțirea tensiunii semnalului cu conjugata sa complexă. În continuare se aplică funcția logaritmică, generând valoarea puterii semnalului reprezentată în dB. Se aplică apoi o funcție de mediere, înainte de a stoca valorile finale.

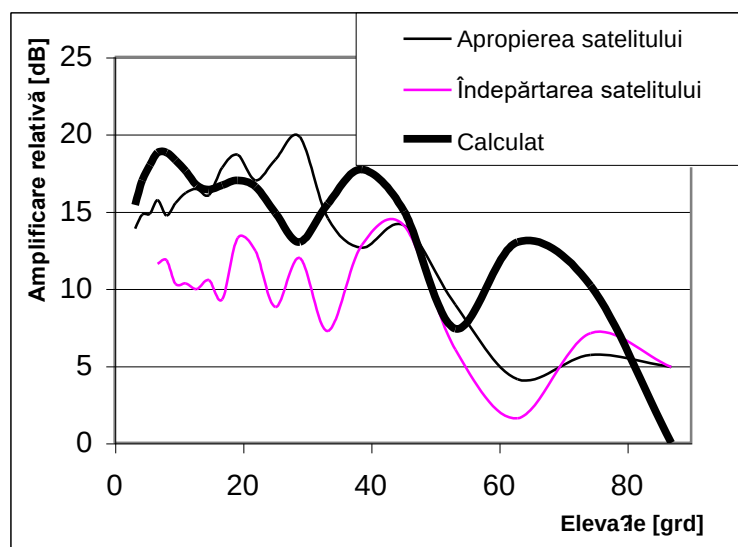


Figura 7 Graficul câștigului relativ al antenei Ground Plane în $\lambda/4$ în funcție de elevația satelitului. [AD]

Antena verticală cu lungimea de $\frac{3}{4} \lambda$ și polarizor circular parazit

Pentru această analiză este utilizat un polarizor parazit pasiv aplicat antenelor verticale alimentate la un capăt, având o înălțime de cel puțin jumătate de lungime de undă (precum antenele de $\frac{3}{4} \lambda$, $\frac{5}{8} \lambda$ alimentate la nivelul planului de masă, J-pole, sau cele cu lungimea de $\frac{1}{2} \lambda$ sau λ alimentate la capăt). Aceste antene verticale pot fi văzute ca dipoli alimentați la un capăt, numiți uneori EFHW (*End Feed Half Wave*), dar cu diferite circuite de acord. Diagramele de radiație diferă în funcție de circuitele de adaptare folosite. Polarizatorul parazit pasiv prezentat în Figura 8, constă dintr-o serie de elemente parazite înclinate, poziționate simetric în jurul elementului central vertical. Acestea sunt plasate în zona nodului de tensiune (aproximativ un sfert de lungime de undă de la capătul superior).

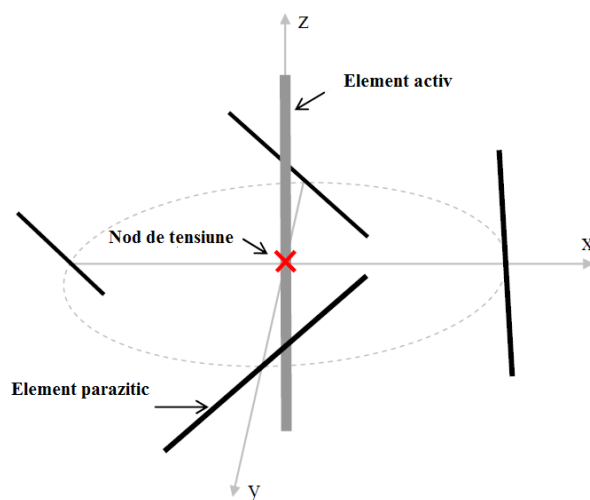


Figura 8 Polarizorul circular pasiv și poziționarea sa [5]

Conform [21] se consideră un dipol vertical și o pereche de elemente parazitare înclinate la 45° , așezate pe aceeași axă la distanța R de aproximativ $\lambda/4$ față de dipol. Din [22] reiese faptul că lungimea optimă a unui asemenea element parazită este de $0,425 \lambda$, iar variația distanței dipol-element (în principiu aproximativ $\lambda/4$) are o influență mică.

Folosind în locul dipolului un element cu lungimea de $\frac{3}{4} \lambda$, acesta se poate alimenta de la un capăt, având o impedanță mică, comparabilă cu impedanța cablului coaxial de alimentare. Eliminarea curenților prin tresa cablului coaxial s-a făcut prin plasarea unui număr de 4 contragreutăți cu lungimea de $\lambda/4$, la baza antenei.

Simulările preliminare ale acestei antene verticale, echipate cu polarizator pasiv, au fost efectuate folosind *software*-ul de analiză a antenelor MMANA-GAL. A fost construit un prototip al acestei antene pentru banda de sateliți de 436 MHz. După reglajele inițiale, măsurătorile au indicat un VSWR scăzut, mai bun decât 1,2: 1, pe întreaga bandă destinată sateliților, adică între 435 și 438 MHz (Figura 9).

Agilent Technologies: N9912A

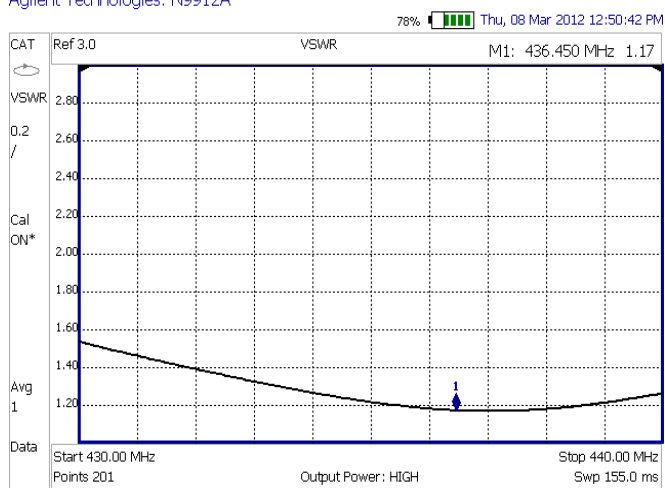


Figura 9 Măsurători asupra VSWR și fotografia antenei [5]

Verificarea polarizării acestui prototip a fost efectuată folosind o bază de măsurare exterioară, cu antena testată conectată la un receptor. A fost folosit un emițător radio de referință prevăzut cu o antenă cu polarizare liniară (dipol cu lungimea de $\frac{1}{2} \lambda$) și un receptor radio definit prin *software* (SDR), conectat la antena supusă încercării.

2.3 Echipamente radio

Înainte de 1992 recepția și emisia radio se făceau folosind exclusiv circuite analogice. Primele încercări de a realiza receptoare radio digitale au fost realizate pentru domeniul militar. [24] După 1992, dezvoltarea recepției folosind circuite digitale a avut un parcurs de dezvoltare exponențial. Conceptual, tehnologia SDR (*Software Defined Radio*) nu este foarte nouă, dar s-a dezvoltat în special datorită dezvoltării tehnicilor digitale, prin dezvoltarea convertoarelor analog-numerice din ce în ce mai rapide și a sistemelor de calcul tot mai performante.

Forumul SDR colaborând cu *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) și cu grupul P1900.1 (IEEE) au stabilit o definiție a SDR-lui: Este un sistem radio în care *unele* sau *toate* funcțiile de nivel fizic, sunt definite prin *software*.

Dispozitivele radio tradiționale (atât de emisie cât și recepție) bazate pe *hardware* (tehnologie analogică) ne limitează; orice modificare a performanțelor poate fi făcută numai prin intervenție fizică. Aceasta are ca rezultat costuri de producție mai mari și o flexibilitate

minimă după construcția unui echipament radio, de exemplu la schimbarea modurilor de lucru. În cazul SDR, se pot face schimbări în mod eficient și relativ ieftin în modurile de lucru ale echipamentelor radio, permițând multe îmbunătățiri doar prin actualizarea *software*-ului.

În principiu, dispozitivele SDR pot face parte din două categorii:

- SDR-uri hibride, la care o parte din prelucrarea semnalului se face analogic (de exemplu receptoare la care avem un preamplificator și apoi un mixer analogic, după care semnalul este convertit digital și apoi prelucrat prin *software*);
- SDR cu eșantionare directă, unde semnalul recepționat este eșantionat direct și apoi prelucrat *software* (mixare, filtraj, amplificare, demodulare).

Fiecare din cele două metode are avantaje și dezavantaje. În domeniul stațiilor de sol, față de soluțiile analogice, SDR-ul aduce însă o serie de îmbunătățiri, care se pot obține mult mai dificil în cazul prelucrărilor analogice:

- recepția, vizualizarea și memorarea completă a unei benzi de frecvență, în care coexistă semnale de la mai mulți sateliți, care au treceri prin zona stației de sol aproximativ concomitent, procedeu care permite analiza (decuparea, filtrarea) ulterioară a semnalelor respective;
- testarea de mai multe ori a corecției Doppler corecte, în cazul orbitelor la care nu sunt încă determinați parametrii orbitali (în primele zile sau săptămâni după lansare). Ca urmare se pot determina anumiți parametri orbitali;
- refolosirea echipamentelor, la urmărirea altor sateliți, având moduri de lucru diferite, numai prin schimbarea unor componente *software*.

Pe plan mondial există actualmente o gamă largă de echipamente SDR, iar lista este într-o creștere continuă. Lista cuprinde echipamente simple, care pot fi construite comod (la prețuri modice), până la echipamente sofisticate de laborator, cu prețuri mult mai mari.

Datorită flexibilității receptoarelor SDR, acestea se pot folosi nu numai la recepția sateliților, dar și pentru efectuarea unor anumite tipuri de măsurători, sau teste periodice, în cadrul stațiilor de sol. Astfel se pot măsura:

- zgomotul propriu al receptorului;
- nivelurile semnalelor electromagnetice într-o bandă dată;
- nivelul semnalului util pe anumite frecvențe.

2.4 Preamplificatorul cu zgomot mic

Preamplificatorul cu zgomot mic (Low Noise Amplifier - LNA) este de obicei primul etaj de amplificare dintr-un receptor. Acesta amplifică un semnal cu amplitudinea foarte scăzută, având un factor de zgomot propriu cât mai mic. În proiectarea unui LNA se ține cont de compromisul dintre adaptarea impedanței și polarizarea optimă pentru zgomot redus, dar și de alegerea unor componente moderne cu zgomot redus destinate special folosirii în asemenea circuite.

2.4.1 Măsurarea factorului de zgomot al preamplificatorului

În circuitele electronice de semnal mic se pot pune în evidență cinci tipuri de zgomot. Acestea pot avea diferite niveluri, în funcție de proiectarea circuitelor și de banda de frecvență în care circuitele respective trebuie să funcționeze. Principalele zgomote care intervin sunt: *zgomotul de alicie* (*zgomotul Schottky sau cuantic*), *zgomotul termic*, *zgomotul de pâlpâire*, *zgomotul de spargere* și *zgomotul de avalanșă*. [32]

Unele sau toate aceste zgomote pot fi prezente într-un caz dat, prezentând un spectru de zgomot unic pentru sistem. Nu este posibil, în cele mai multe cazuri, să se separe efectele, dar știind cauzele generale, proiectantul poate optimiza sistemul, minimizând zgomotul într-o anumită lățime de bandă de frecvențe, de interes pentru aplicația respectivă.

2.4.2 Realizarea practică a unor preamplificatoare cu zgomot mic

Un LNA tipic poate furniza un câștig de putere de 20 dB, având un factor de zgomot propriu de maxim câțiva dB. Deși în proiectarea unui LNA se ține cont în primul rând de amplificarea semnalelor slabe, cu doar puțin peste nivelul zgomotului, aceste circuite trebuie să suporte și prezența semnalelor mai puternice, care uneori pot provoca distorsiuni de intermodulație.

Folosind un circuit MMIC (*Monolithic Microwave Integrated Circuit*) se poate obține un preamplificator stabil și cu performanțe ridicate concepând o schemă simplă. Au fost analizate foile de catalog pentru mai multe circuite MMIC. După eliminarea pe rând a majorității lor, a fost ales, în final, circuitul PGA103+ [28].

Au fost realizate practic trei preamplificatoare: unul pe un cablaj realizat industrial de către un radioamator englez (G4DDK), procurat sub formă de kit, și alte două realizate local, după indicațiile din foile de catalog (foto în Figura 10). Primele au fost introduse în „cutii” obținute prin frezare din blocuri de aluminiu, cu mufe SMA mamă la intrare și la ieșire. În aceleași blocuri din aluminiu, pe partea opusă, a fost creat spațiul pentru alimentarea preamplificatorului. Pentru această funcție au fost folosite circuitele LP2985 [29], surse de tensiune cu zgomot intern redus, de 5 V, la maxim 150 mA, special destinate unor asemenea aplicații.

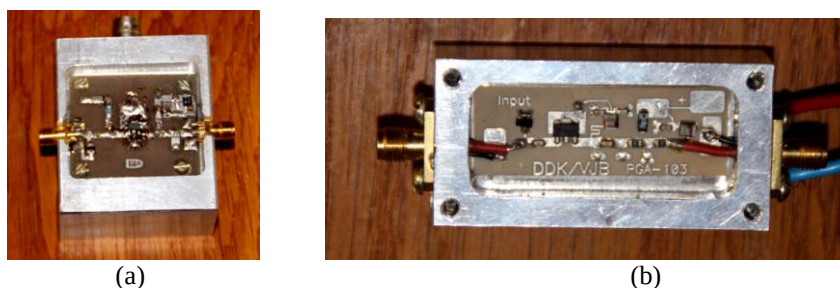


Figura 10 Cele două variante de preamplificator cu PGA-103+ [AD]

Cele două preamplificatoare au fost măsurate în laborator. Diferențele au fost minore. Amplificarea a fost de aproximativ 20 dB, atât în banda de 2 m cât și în cea de 70 cm. Aceasta a fost măsurată conectând generatorul de semnal N5183A (Agilent) la intrare și analizorul de spectru MS2690A (Anritsu) la ieșire.

Al treilea exemplar a fost realizat pentru stația de sol cu acces de la distanță. Acesta are conectate la intrare și ieșire două relee coaxiale. Scopul acestora este de a permite trecerea semnalului peste preamplificator, în caz de necesitate (defecțiune sau folosirea antenei la emisie, spre exemplu). Când alimentarea nu este aplicată, releele determină trecerea semnalului direct între conectorii de tip N de la intrare și de la ieșire. În Figura 11 conectorii sunt astfel folosiți: intrarea, stânga jos, filtrul $\lambda/2$, stânga sus, alimentare, în mijloc și ieșire semnal, în dreapta.



Figura 11 Imaginea LNA-ului al treilea [AD]

Și acest preamplificator a fost construit folosind circuitul MMIC de tip PGA103+, după schema recomandată în foaia de catalog. Acesta a fost măsurat și el asigură un câștig de aproximativ 20 dB.

2.4.3 Folosirea receptorului RTL-SDR pentru măsurători

Deoarece caracteristica de transfer a receptorului RTL-SDR, după măsurătoare, prezintă o bună linearitate, rezultă că acesta poate fi folosit pentru efectuarea unor măsurători de nivel.

Nivelul semnalelor radio în zona stațiilor de sol din Suceava a fost analizat cu ajutorul receptorului RTL-SDR și a unui program *Open Source* denumit „*GUI for rtl_power*” (care are executabilul *rtlpan.exe*), preluat de la adresa [30][31]). Astfel s-a obținut un analizor de spectru panoramic.

Figura 12 și Figura 13 prezintă spectrul recepționat între 100 și 1000 MHz la cele două stații de sol, folosind antenele GP, și respectiv Discone. Se observă faptul că puterea semnalelor de la stațiile de radiodifuziune și GSM sunt cele care ar putea crea probleme; în cazul stației de la Universitate semnalele de radiodifuziune sunt cu 17 dB mai puternice (de aproximativ 40 ori).

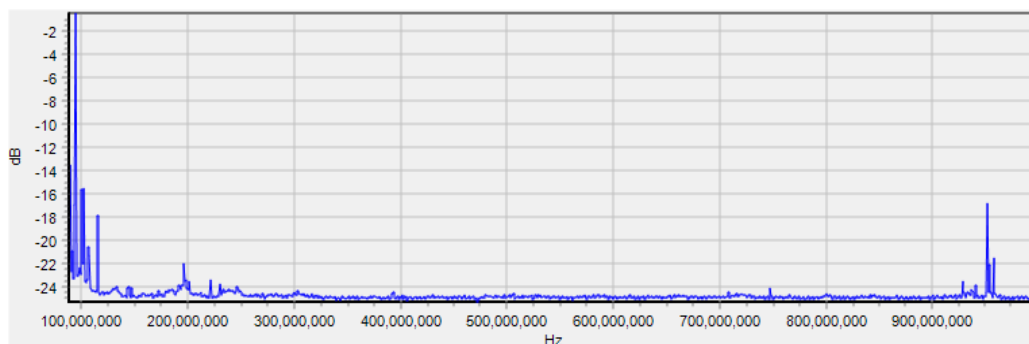


Figura 12 Spectrul recepționat la stația de sol independentă [5]

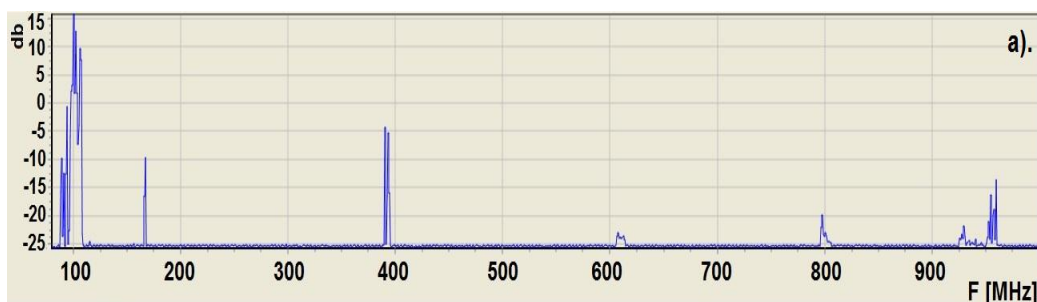


Figura 13 Spectrul recepționat la stația de sol cu acces la distanță [18]

2.5 Măsurarea orizontului radio al stației de sol

Orizontul radio este locul geometric al punctelor de contact dintre dreptele care pleacă dintr-o antenă cu suprafața Pământului și care sunt tangente la suprafața Pământului. Dacă Pământul ar fi o sferă perfectă și nu ar exista atmosferă, orizontul radio ar fi un cerc, indiferent de frecvențele folosite.

În realitate orizontul radio rareori are o formă care se apropie de cerc. Forma acestuia depinde de relieful, construcții, vegetație. Chiar și dimensiunile acestuia sunt variabile în timp (compoziție atmosferică, temperatură).

Deoarece cele două stații de sol din Suceava amintite deja sunt situate în limitele orașului, performanțele acestora vor fi influențate de condițiile de mediu (orizont radio și zgomot radio) și de locația în sine.

Înainte de alegerea unui loc pentru o stație de sol, se pune problema unor influențe ale mediului asupra activității stației de sol. Având în vedere faptul că se folosesc frecvențe înalte și sateliții pot avea traiectorii ce acoperă întregul cer, este foarte important orizontul radio.

În situația stației de sol independente de la Suceava a fost verificat orizontul radio de pe platforma antenelor, iar rezultatele sunt rezumate în Figura 14. Linia continuă reprezintă linia construcțiilor, care obturează semnalele radio în toate frecvențele și în orice perioadă a anului. Linia punctată reprezintă linia coroanelor copacilor din zonă. Aceste obstacole au fost diferențiate, deoarece copacii obturează semnalele radio pe frecvențe mai înalte (banda de 435 MHz și mai sus), mai ales în perioadele de vegetație cu precădere în perioadele umede.

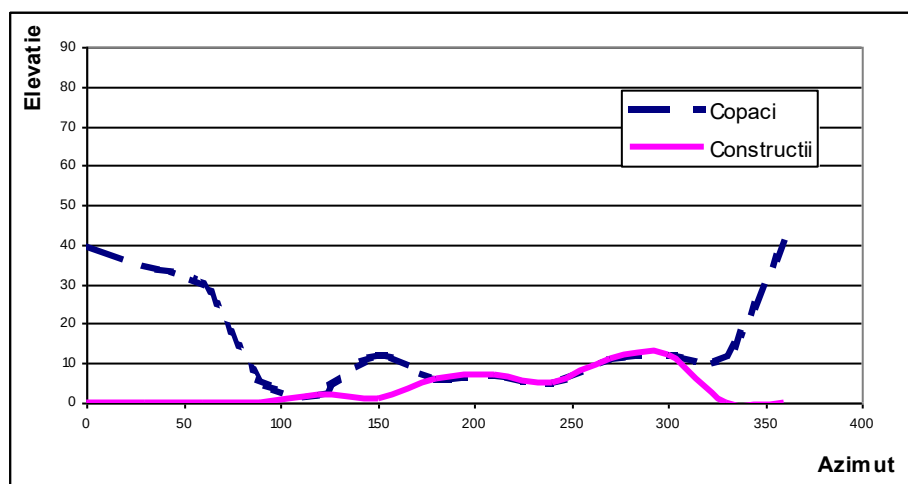


Figura 14 Orizont radio măsurat la stația de sol, de pe platforma antenelor [AD]

În cazul stației cu acces la distanță, orizontul radio este mult mai extins, având elevații minime cuprinse între 0 și 2 grade, ceea ce este mult mai bine din punctul de vedere al comunicației cu sateliții LEO.

2.6 Filtre

Semnalele care sosesc de la sateliți sunt foarte slabe și adesea este necesar un preamplificator cu un zgomot propriu foarte mic. Acesta trebuie să funcționeze în toate condițiile, în zona liniară, fără intermodulații.

IARU (*International Amateur Radio Union*) a devenit responsabilă pentru gestionarea benzilor de frecvență pentru comunicațiile prin satelit, și anume cele aflate în interiorul benzilor de amatori. Aproape toți sateliții de amatori sau educaționali folosesc banda de frecvențe cuprinsă între 435 și 438 MHz. Dacă, cu câțiva ani în urmă, benzile de frecvență adiacente au fost rareori utilizate, astăzi sunt sub o presiune tot mai mare. Din păcate, pentru noi, în zona Suceava, a fost deja alocată o bandă comercială de comunicații digitale, între 421 și 425 MHz. Preamplificatoarele comune, precum și antenele utilizate, separă cele două benzi de semnale într-o măsură foarte mică (de ordinul decibelilor, numai prin antenă). Ca urmare se produc interferențe, ceea ce duce la creșterea zgomotului la recepție, zgomot care acoperă adesea semnalele utile.

Teoria filtrelor este bine stabilită, însă realizarea lor practică implică adesea eforturi majore pentru a găsi soluții practice în conceperea și realizarea fizică a lor. În același timp, parametrii filtrelor care pot fi cumpărate pe piață nu îndeplinesc anumite nevoi specifice sau costul lor devine dominant în prețul total al receptorului.

2.6.1 Filtru interdigital

În aceste condiții s-a ales o combinație de 3 celule coaxiale cu lungimea de $\lambda/4$, cuplate capacitiv în zona de maxim de tensiune.

Porturile de intrare și ieșire sunt asigurate prin două conectoare de tip N, simulate prin câte un cilindru interior de 2 mm diametru și unul exterior de 7 mm diametru, cu teflon între ele. Cilindrul gros din dreapta este un șurub de reglaj fin al frecvenței de rezonanță.

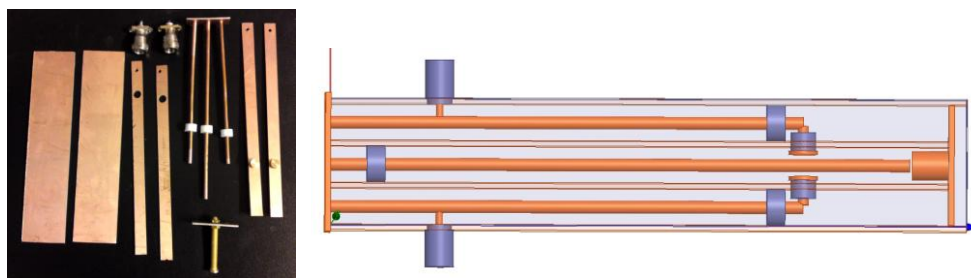


Figura 15 Filtru cu 3 celule cu lungimea de $\lambda/4$ și capacitatea distribuită [AD]

Materialele utilizate: s-a folosit cuprul ca material conductor și aerul drept dielectric. Deoarece frecvența de operare este de 435 MHz, în [36] se arată că frecvența radio penetrează pereții de cupru pe o adâncime de numai 3,12 micrometri. Ca urmare s-a ales ca material pentru pereți sticlotehtolit dublu placat cu cupru (FR4), care are o grosime a stratului de cupru de 35 micrometri și grosimea dielectricului de 1,5 mm. Prin urmare, materialul este astfel mult mai ușor de prelucrat și mai ieftin decât cuprul solid, fără efecte electrice nedorite.

În Figura 16 este prezentată imaginea preluată de pe ecranul analizorului de spectru Anritsu MS2690A. În stânga jos, se poate observa încă semnalul perturbator care pătrunde în continuare în sistem prin părțile neecranate corespunzător.



Figura 16 Semnalul generatorului de zgomot trecut prin filtrul cu 3 celule [AD]

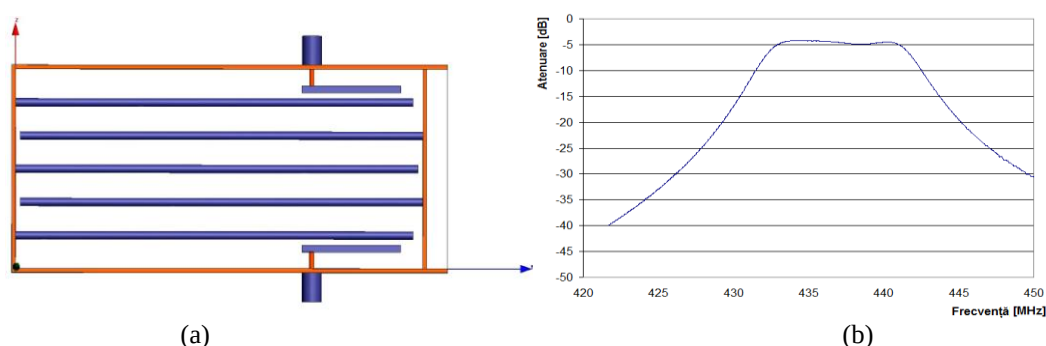


Figura 17 Filtru interdigital cu 5 celule (a) și caracteristica de transfer (b) [AD]

Pentru a mări atenuarea benzii nedorite, s-a trecut la o variantă de filtru interdigital cu 5 celule. După mai multe simulări, s-a ajuns la varianta din Figura 17 a . Intrarea și ieșirea au fost conectate la două bare. De fapt, trebuind să asigure doar o cuplare capacitivă, acestea au fost practic realizate din două lame elastice, ale căror distanțe față de celulele corespunzătoare se pot regla cu două șuruburi din plexiglas.

Simularea comportării filtrului a fost făcută cu *software*-ul HFSS. Cele 5 celule au fost realizate practic din bare filetate de alamă, cu piulițe de blocare. Astfel s-au putut face reglaje de finețe, cu scopul de a fi atinse rezultatele obținute prin simulare.

După construirea filtrului, măsurarea performanțelor a fost efectuată folosind un generator de semnal Agilent N5183A și un analizor de spectru Anritsu MS2690A. Imaginea din Figura 18 este foarte asemănătoare cu cea obținută prin simulare.

Toate filtrele au fost testate și caracterizate la o impedanță de 50 ohmi, putând fi utilizate în orice punct între antenă și receptor. Pentru o reconfigurare ușoară, acestea au fost construite utilizând conectori de tip N (filtrul cu 3 celule) sau SMA (filtrul cu 5 celule).



Figura 18 Caracteristica de transfer a filtrului cu 5 celule, [AD]

2.6.2 Filtre LC

În cazul în care nu sunt cerințe deosebite privind filtrarea (de exemplu atunci când nu se impun flancuri abrupte), iar frecvențele sunt mici (până la 150-200 MHz), folosirea filtrelor cu constante concentrate constituie o soluție avantajoasă. Vom obține astfel filtre la un preț mai redus, cât și cu dimensiuni (deci și greutate) mai mici.

La stația de sol cu acces de la distanță au fost folosite două asemenea filtre. Primul dintre ele este de tip trece bandă cu frecvența centrală de 145,9 MHz, acesta fiind mai întâi simulat și apoi realizat și fizic. Simularea sa a fost făcută cu ajutorul programului RFSim99, creat pentru Windows 95/98/NT, dar utilizabil cu succes și sub sistemele de operare moderne.

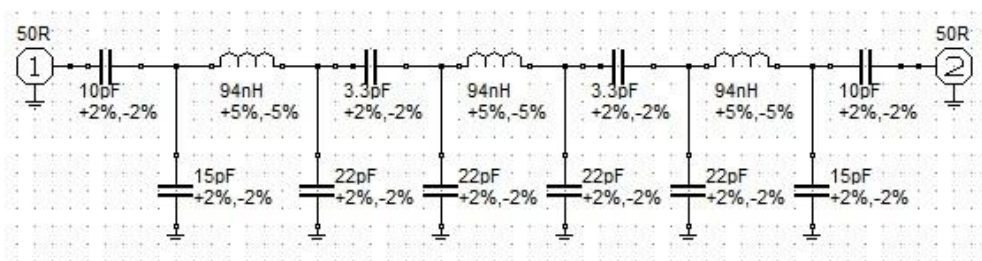


Figura 19 Schema electrică a filtrului trece bandă simulat [AD]

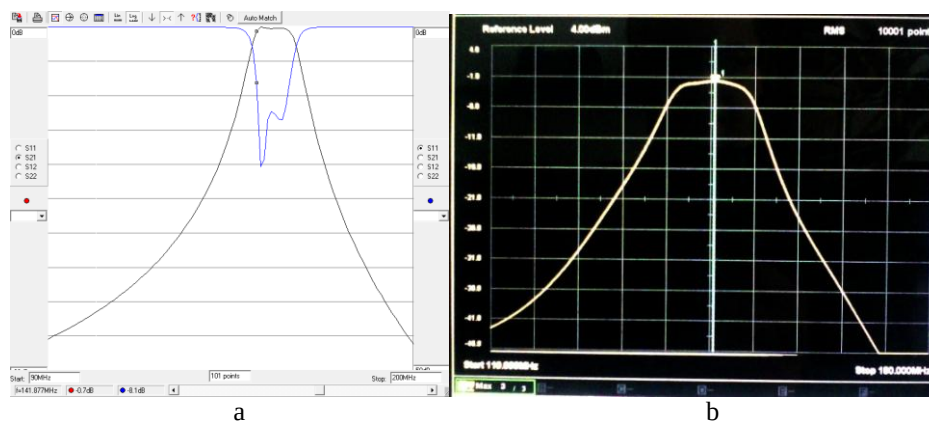


Figura 20 Caracteristica de transfer ale filtrului trece bandă simulat (a) și măsurat (b) [AD]

Al doilea filtru este de tip oprește bandă, cu frecvența centrală de 98 MHz și banda de rejecție de 25 MHz. Este o variantă care a avut la origine un proiect al lui Christophe PIALOT (F1JKY) [37]. În Figura 21 este dată schema filtrului de rejecție și ilustrarea caracteristicii acestui filtru în gama de frecvențe cuprinsă între 25 MHz și 500 MHz, ridicată în condiții de laborator, pe schema inițială. Deși rejecția sa, în banda de radiodifuziune atinge la unele frecvențe chiar și 80 dB, în benzile de recepție de la sateliți, atenuarea sa este sub 1 dB.

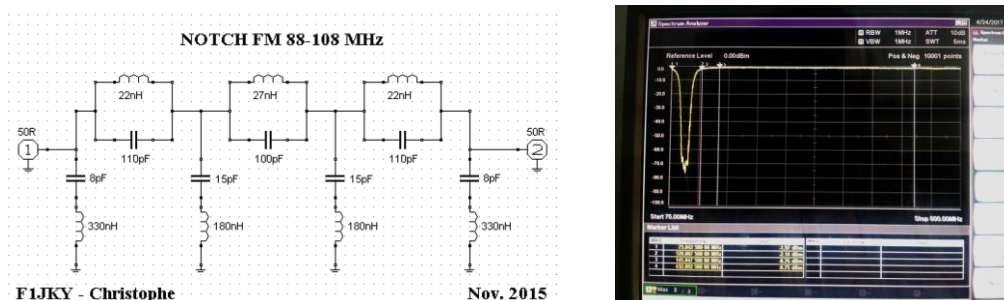


Figura 21 Schema filtrului de rejecție și caracteristica sa ridicată în laboratorul USV [AD]

După conectarea filtrului la stația de sol, se obține o scădere a semnalelor din banda de radiodifuziune cu aproape 40 dB (Figura 22; a se compara cu Figura 13).

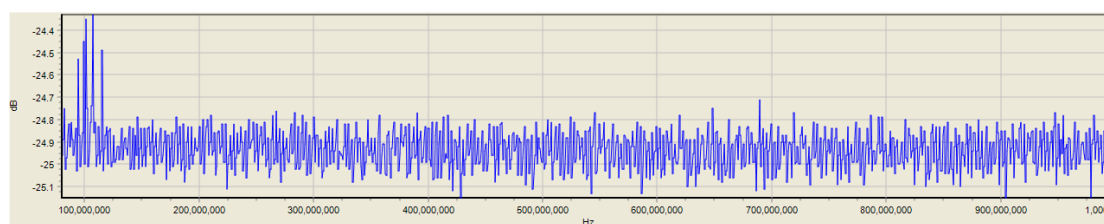


Figura 22 Spectrul la intrarea receptorului stației de sol cu acces de la distanță [AD]

2.7 Software utilizat la stația de sol

La stațiile de sol sunt necesare câteva instrumente *software*, atât pentru momentul în care se dorește să se afle unde și când avem o trecere de satelit, dar și după ce acesta este recepționat, pentru decodarea datelor și retransmiterea lor (manuală sau automată) către MCC.

Mișcarea sateliților în jurul Pământului este guvernată de aceleași legi naturale ca și cele ce descriu mișcarea planetelor în jurul unei stele centrale sau a unor obiecte cosmice aflate la distanțe corespunzătoare. Aceste legi au fost enunțate de către Johannes Kepler în jurul anilor 1600.

Calculul orbitei sateliților, în zilele noastre, se face folosind programe de *tracking*, disponibile pentru mai multe sisteme de operare, atât gratuit cât și contra cost.

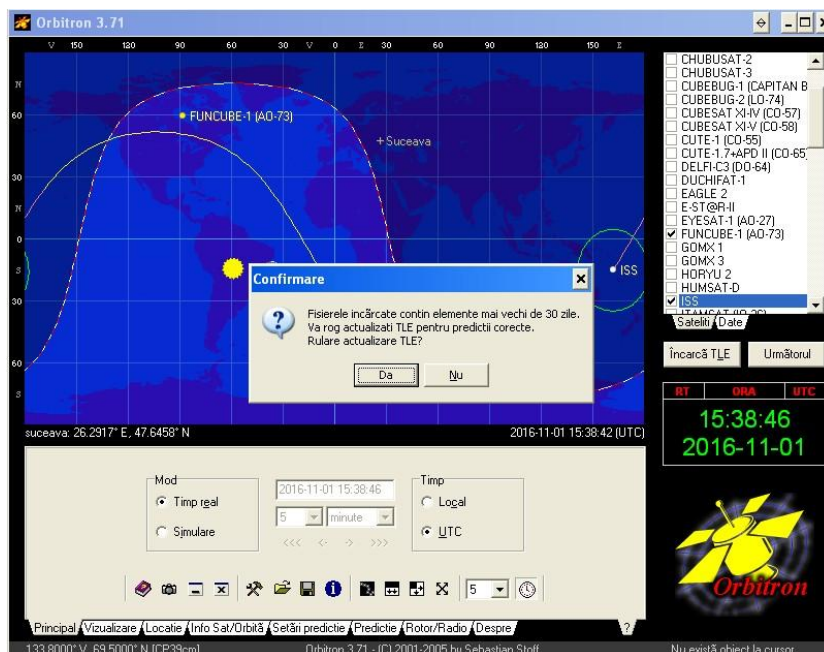


Figura 23 Imaginea ecranului calculatorului cu programul Orbitron [19]

În Figura 23 este prezentată imaginea ecranului calculatorului atunci când pe acesta rulează programul de urmărire Orbitron [19] (este un program *cardware*, care solicită celor care îl folosesc, dacă îl consideră util, să trimită autorului, Sebastian Stoff, din Polonia, o carte poștală din zona lor). Mesajul de eroare din figură ne avertizează când au trecut mai mult de 30 zile, fără să fi actualizat coordonatele TLE (*Two Line Element*) ale sateliților din lista pe care dorim să o folosim. Actualizarea se face ușor, prin comenzi date programului, din baza de date Celestrak, aflată la dispoziția publicului. Apoi programul calculează toți parametrii utili pentru urmărirea unor sateliți: geometria trecerilor, orele de trecere, unghiurile de azimut și elevație pentru o poziție dată a stației de sol pe suprafața globului pământesc, corecția Doppler necesară, dar furnizează și alte date cu caracter informativ.

Cele mai multe date au fost recepționate de la sateliți educaționali și pentru amatori din seria FUNcube, aceștia fiind construiți de către AMSAT-UK (Anglia) și AMSAT-NL (Olanda). Datele transmise, folosind modulația BPSK, se pot decoda cu un program pus la dispoziție de către constructorii sateliților, numit Dashboard [20]. Acesta, pe lângă decodare, poate transmite, prin Internet, datele recepționate, printr-un "comutator" *software*, către un server central destinat fiecărui satelit în parte.

La stația de sol cu acces de la distanță (amplasată la Universitatea Suceava), interfața *web* include HTML5 și Javascript, cu nivelul anterior implementat în Python. În fundal, o bibliotecă de procesare a semnalului digital (DSP), *libcsdr*, și un instrument la nivel de linie de comandă, *CSDR*, efectuează sarcinile de procesare a semnalului. Pentru a accelera execuția pe procesoarele ARM, unii algoritmi au fost optimizați folosind rutine în limbaj de asamblare. *CSDR* a fost conceput pentru a efectua DSP în mod simplu, direct pe semnale, din linia de comandă. Procesele *CSDR*, cu diferite funcții de procesare, pot fi înălțuite unul după celălalt prin FIFO, furnizat de nucleul sistemului de operare Linux. Astfel se poate implementa un sistem simplu de procesare a semnalului, cu o singură comandă. Toate acestea sunt implementate în sistemul OpenWebRX, gândit și implementat inițial de András Retzler în [13].

Alegerea benzii de frecvențe sau alte setări de finețe se pot efectua asupra stației de sol folosind utilitarul *putty* sau prin interfața VNC (*Virtual Network Computing*) recomandată și preinstalată în sistemul Raspberry Pi 3. Se pot astfel conecta sau deconecta de la distanță diferite filtre sau preamplificatorul de zgomot mic.

2.8 Rezultate obținute

Folosind stațiile de sol analizate au fost recepționate semnale de la o serie de sateliți de tip LEO. În cele ce urmează se vor analiza pe scurt rezultatele obținute.

Parametrii tehnici enumerați în continuare, privind sateliții recepționați sunt preluate de pe site-urile corespunzătoare de pe Internet, la care s-au adăugat rezumate ale datelor recepționate.

2.8.1 FUNcube-1

FUNCube-1 (AO73) este un satelit educațional în format 1U CubeSat având scopul de a atrage și a educa tinerii în domeniile radio, spațiu, fizică și electronică. FUNCube-1, înregistrat ca satelit olandez, a fost lansat cu succes din Rusia pe o rachetă DNEPR pe 21 noiembrie 2013 și, după aproape cinci ani pe orbită, continuă să funcționeze bine. Peste 1200 de amatori, inclusiv multe școli și colegii din întreaga lume (printre care și stațiile de sol din Suceava), au recepționat și au decodat datele telemetrice. Detalii despre operațiunile efectuate până la mijlocul lunii aprilie 2019 pot fi vizualizate la <http://warehouse.funcube.org.uk/>, iar cele relative la operațiunile curente și telemetria disponibilă pot fi vizualizate la <http://data.amsat-uk.org/missions>.

Frecvențele utilizate sunt:

- 435.150 la 435.130 MHz - transponder SSB / CW *uplink*;
- 145.950 la 145.970 MHz - transponder *downlink*;
- 145.935 MHz - telemetrie BPSK cu viteza de 1200 biți/s.

Codarea telemetriei este explicată în mai multe documente (descrierea cadrelor de telemetrie: http://funcubetest2.files.wordpress.com/2013/08/fun_downlink_data_draft_13.doc sau la https://funcubetest2.files.wordpress.com/2010/11/funcube-handbook-en_v13.pdf, unde găsim informații în mai multe limbi). Un cadru este transmis în 4,3 secunde urmat de un ton BPSK nemodulat de 0,7 secunde. Toată informația este transmisă în 24 cadre, ceea ce înseamnă că se repetă la fiecare 2 minute. Faptul că toate informațiile sunt disponibile publicului a determinat ca un număr mare de persoane să se implice în recepția datelor, determinând succesul misiunii.

Figura 24 prezintă unul din graficele ce se pot genera automat și, eventual, descărca de pe site-ul <http://warehouse.funcube.org.uk/> folosind date din baza de date amintită.

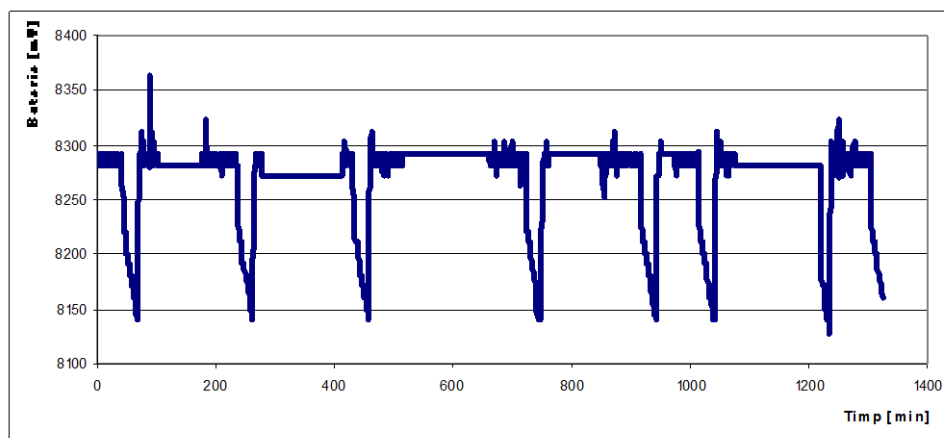


Figura 24 Variația tensiunii de la bornele acumulatorului [AD]

2.8.2 Nayif-1

Nayif-1 a fost dezvoltat de Centrul Spațial Mohammed Rashid (MBRSC) din Emiratele Arabe Unite și de Universitatea Americană Sharjah (AUS). Acest satelit a fost proiectat și realizat de studenți din AUS, sub supravegherea unei echipe de ingineri și specialiști din cadrul MBRSC. Agenția Spațială Indiană ISRO a lansat cu succes satelitul de radioamatori Nayif-1 (împreună cu alți 103 sateliți, un record pentru o singură lansare), folosind racheta PSLV-C37, pe 5 februarie 2017.

Satelitul include un transponder liniar U / V și un emițător de telemetrie. Folosește un circuit de control al frecvențelor îmbunătățit și include un sistem de determinare și control al atitudinii, activ.

Frecvențele de operare sunt:

- 145.940 MHz - telemetrie BPSK de 1200 biți/s, conform standardului FUNcube.
- 435.045 - 435.015 MHz - transponder SSB / CW *uplink*;
- 145.960 - 145.990 MHz - transponder *downlink*.

2.8.3 ISS

Stația Spațială Internațională are rezervate o serie de frecvențe pentru activități de radiocomunicații de amatori și educaționale. Pe exteriorul modulelor Zarya și Columbus se găsesc mai multe antene pentru benzile de frecvență de la 145 la 2400 MHz.

Activitățile desfășurate, folosind aceste echipamente, sunt următoarele:

- legături demonstrative periodice cu programare, dintre cosmonauți/astronauți și elevi de la diferite școli din toată lumea; în cadrul acestora se pun întrebări și se dau răspunsuri în direct; la una din aceste întâlniri, cu elevi din Târgoviște, de la Suceava s-a asigurat legătura *downlink* de rezervă;
- retranslații digitale automate pe frecvența de 145,825 MHz, cu modulație AFSK și protocol AX-25 (momentan, octombrie 2018, stația aferentă este defectă);
- transmisie de imagini de televiziune digitală pe frecvența de 2395 MHz, folosind un echipament special proiectat și construit pentru acest scop;
- transmisii de imagini în modul de lucru SSTV (*Slow Scan TV* - televiziune cu baleiaj lent, o imagine la 120 secunde), modulat FM, pe frecvența de 145,800 MHz, după un program anunțat anterior;
- comunicații directe (foarte rar) între astronauți și radioamatori de la sol.

2.8.4 Analiza pachetelor de date recepționate de la sateliții FUNcube

În cele ce urmează se va face o analiză asupra atitudinii a trei sateliți din această serie, pe baza numărului de pachete recepționate. În primul rând s-a ținut cont de alura graficului distanței dintre un satelit LEO și stația de sol, în funcție de elevație. S-a normalizat numărul de pachete recepționate la treceri cu elevații diferite, folosind relația următoare:

$$N = \frac{R}{E} \quad (1)$$

unde: N - numărul de pachete recepționate, normalizat;
R - numărul real de pachete recepționate la o trecere dată;
E - elevația maximă a trecerii respective, în grade.

S-au luat în considerație treceri ale sateliților Nayif-1, FUNcube-1 și UKube-1, din perioada 23 aprilie până la 31 iulie 2018. Au fost normalizate numerele de pachete recepționate de la aproximativ 220 treceri și apoi au fost reprezentate în Figura 25. Ulterior au fost calculate mediile pentru cei trei sateliți (Figura 26).

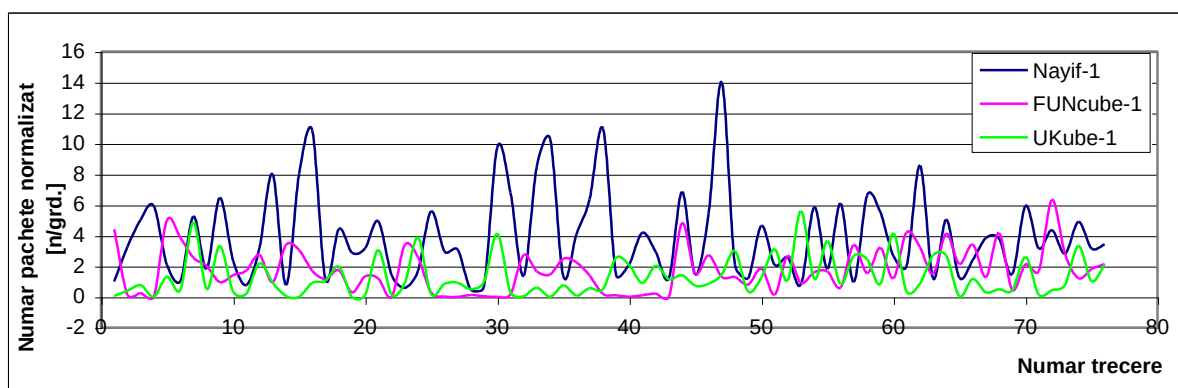


Figura 25 numărul de pachete recepționate, normalizat, în cazul celor 3 sateliți [AD]

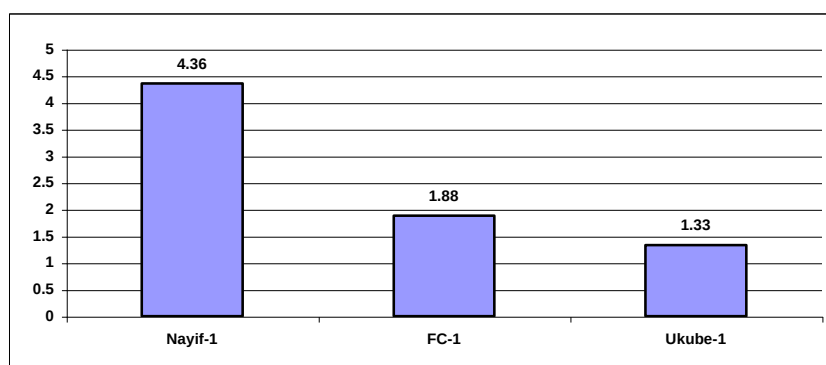


Figura 26 Comparatie între numărul de pachete recepționate pe grad de elevație [AD]

Deși cei trei sateliți au la bord echipamente echivalente (300 mW, GMSK, antene dipol), se observă că numărul de pachete este variabil. Aceasta se datorează atitudinii diferite. Astfel Nayif-1 are un sistem activ de stabilizare a poziției pe traiectorie, folosind bobine (alimentate

de către calculatorul de bord, după un anumit algoritm) care creează forțe mecanice de rotire, în câmpul magnetic al Pământului. Ceilalți doi sateliți nu au asemenea circuite, deci se rotesc după axe de simetrie cu viteze diferite, determinând modificări ale polarizării antenelor de la bord, cu perioada corespunzătoare. Această viteză depinde atât de viteza de rotație imprimată în momentul eliberării lor în spațiu, dar și de alte forțe precum cele create de forma aerodinamică (având în vedere urmele de aer existente în zona orbitei sateliților LEO) sau de presiunea exercitată de lumina solară asupra fețelor lor (forțe aflate în afara controlului satelitului sau a operatorilor săi).

Folosind cele două stații de sol, s-a reușit recepția și decodarea unui număr de peste 49.000 de pachete de date, de la Nayif-1, 39.000 pachete de date de la FUNcube-1, 6.100 pachete de date de la JY1-SAT și peste 6 500 pachete de la UKube-1. Toate aceste pachete au fost trimise automat către proprietarii sateliților, cu scopul integrării lor în baza de date de la nivel mondial.

Recepția cu succes a acestor date a demonstrat faptul că cele două stații de sol au sensibilitatea necesară recepției semnalelor de la emițătoare de foarte mică putere (300mW sau chiar 30 mW) aflate la bordul unor sateliți.

2.8.5 Satelitul geostaționar Es'hail-2

Primul satelit geostaționar pentru radioamatori (P4-A) a fost de fapt un bloc format din două transpondere amplasate pe satelitul comercial Es'hail-2, fiind un proiect comun între Qatar Satellite Company (Es'hailSat), federația de radioamatori din Qatar (QARS) și AMSAT Deutschland (AMSAT-DL), ultimul dintre aceștia asigurând asistența tehnică.

Construcția propriu-zisă a satelitului a fost făcută de către Mitsubishi Electric, iar finanțarea de către statul Qatar. Lansarea s-a efectuat în noiembrie 2018 cu o rachetă Falcon 9 (SpaceX) din Complexul de lansare 39A (LC-39A) al NASA, Centrul Spațial Kennedy din Florida. Ca la orice poziționare de satelit geostaționar, lansarea a fost urmată de o perioadă de comisionare în care sunt verificate toate echipamentele de la bord, înainte de a declara satelitul operațional.

Cele două transpondere au scopuri diferite: primul este de bandă îngustă, cu scopul translatării unor comunicații analogice clasice sau digitale (SSB, CW, SSTV), iar cel de al doilea este de bandă largă pentru experimente de televiziune digitală de amatori. Cerințele asupra echipamentelor de la sol sunt următoarele: [38]

Downlink în banda de 10GHz:

- antenă parabolică de minim 60 cm diametru, în zona noastră (26°E);
- transponder liniar: polarizare liniară verticală;
- transponder video digital: polarizare liniară orizontală.

Uplink în banda de 2,4GHz:

- transponder liniar: SSB, CW; 5W cu o antenă cu 22,5 dBi cu polarizare circulară dreaptă;
- transponder video digital: EIRP de vârf 53 dBW (100W cu o antenă de 2,5m cu polarizare circulară dreaptă).

Benzile de frecvențe utilizate de cele două transpondere sunt:

Transponderul liniar:

- *uplink*: 2400,050 - 2400,300 MHz;

- *downlink* 10489,550 - 10489,880 MHz;
- Transponderul digital video:*
- *uplink*: 2401,500 - 2409,500 MHz;
- *downlink*: 10491,000 - 10499,000 MHz.

Satelitul constituie o oportunitate de testare a unor echipamente de emisie și recepție în benzile amintite, cu aplicativitate în comunicațiile spațiale. În scopul accesării satelitului s-au propus echipamente de mai jos.

Downlink (recepție):

- antenă parabolică de tip *off-set* de 90 cm diametru;
- LNC (*Low Noise Converter*), cu oscilator local de tip PLL (AVENGER);
- receptor SDR de tip RTL-SDR;
- calculator Raspberry Pi 2, cu *software* OpenWebRx.

Se observă faptul că nu sunt necesare blocuri funcționale deosebite. Blocul cu cele mai mari restricții este LNC-ul (*Low Noise Converter*). Acesta nu trebuie să fie cel "clasic", adică dintre cele ce folosesc un DRO (*Dielectric Resonant Oscillator*) deoarece acesta nu asigură o stabilitate de frecvență mulțumitoare, în cazul transmisiilor cu bandă îngustă, precum SSB sau CW. În ultimii ani au o răspândire tot mai mare blocuri care folosesc un oscilator de tip PLL, la care stabilitatea este determinată de un oscilator cu cuarț (acesta se poate înlocui cu un TCXO - *Thermic Compensated X-tal Oscillator*, GPSDO - *GPS Disciplined Oscillator*, OCXO - *Oven Controled X-tal Oscillator* sau alt tip de oscilator cu o stabilitate mai bună).

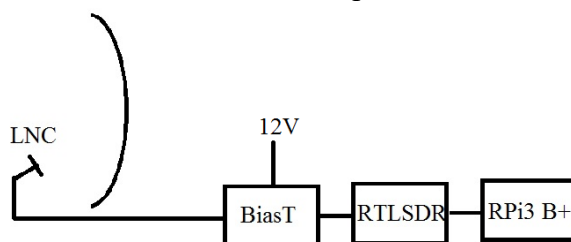


Figura 27 Schema bloc propusă pentru receptor [AD]

Receptorul din Figura 27 a fost realizat și instalat pe platforma Observatorului din cadrul Universității Ștefan cel Mare din Suceava și poate fi accesat oricând prin Internet folosind adresa www.statiidesol.tk sau, direct, adone.geonet.ro/sat/receptor/receptor.html.

Uplink (emisie):

- emițător în banda de 436 MHz;
- atenuator;
- oscilator cu circuitul PLL ADF4351;
- microprocesor MSP430G2211;
- mixer;
- filtru în banda de 2.4 GHz;
- amplificator;
- antenă.

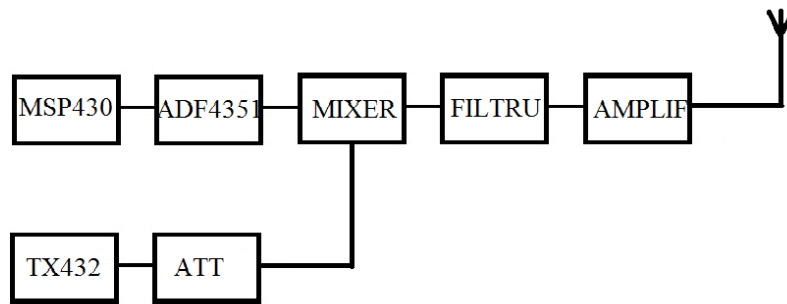


Figura 28 Schema bloc propusă pentru emițător [AD]

Figura 28 prezintă schema bloc a emițătorului. Este mai complicată decât la recepție deoarece gradul de integrare al blocurilor funcționale este mai mic. Oscilatorul PLL ales poate genera orice frecvență între 35 și 4400 MHz, pentru programarea sa folosind un set de 6 registre de câte 32 biți. Se generează astfel frecvența de 1965 MHz la un nivel cuprins între -4 și 5 dBm. Scrierea în registre a fost făcută cu ajutorul unui microprocesor MSP430G2211 care, după calarea buclei, practic nu mai este utilizat.

După mixaj este absolut necesară introducerea pe calea de semnal a unui filtru trece bandă (Figura 29). Soluția aleasă a fost un filtru interdigital cu 3 celule. Parametrii săi, după construcția practică au relevat o atenuare de inserție de aproximativ 4 dB într-o bandă de aproximativ 300 MHz și o atenuare de peste 50 dB la o distanță de peste 300 MHz de banda de trecere.

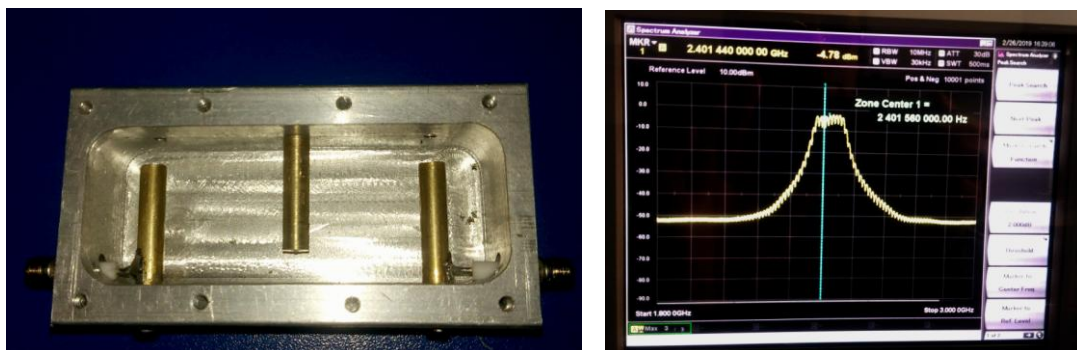


Figura 29 Filtrul interdigital pe frecvența de 2400 MHz realizat și caracterizarea lui [AD]

Etajele ulterioare trebuie să asigure la ieșire un nivel de putere de 33 până la 36 dBm (adică minim 2 W), în condițiile folosirii unei antene cu un câștig de 24 dB.

3 Simulator de satelit

Majoritatea misiunilor spațiale folosesc, în scopul pregătirii personalului de la sol din cadrul MCC, diverse tipuri de simulatoare de satelit. Pe aceste simulatoare se testează dezvoltarea de noi componente *software* și *hardware*, precum și procedurile acceptate de comandă de la distanță. Figura 30 prezintă două exemple de asemenea echipamente comerciale.

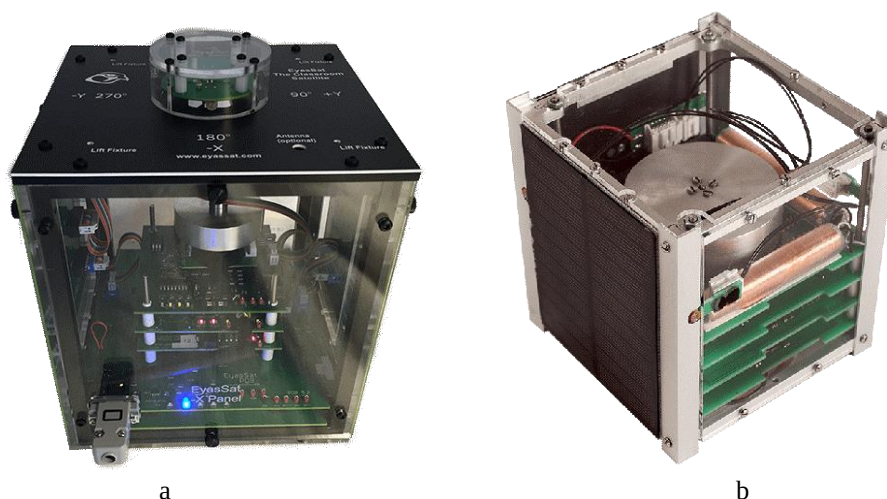


Figura 30 Sateliți demonstrativi cu scop educațional [65]

EyasSat (Figura 30 a) este un nanosatelit complet funcțional, conceput pentru predarea ingineriei sistemelor spațiale, în clasă și laborator. EyasSAT a fost co-dezvoltat între Academia Forțelor Aeriene din S.U.A. și Colorado Satellite Services. EyasSAT are șase subsisteme tradiționale pe o singură magistrală din satelit: structură, alimentare cu energie electrică (EPS), manipulare date (DH), comunicații (Comm), determinare și control atitudine (ADCS) și subsisteme termice. [39]

ESAT (Figura 30 b) este un satelit educațional conceput pentru toate nivelurile de educație: educație STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics* - Știință, tehnologie, inginerie și matematică), respectiv studii universitare și formare profesională. ESAT este perfect echipat pentru educația în proiectarea, fabricarea, integrarea, validarea și funcționarea sateliților. ESAT le permite să integreze și să testeze dezvoltări proprii, atât *software*, cât și *hardware*. [40]

În scopul testării stațiilor de sol și pregătirii utilizatorilor unor sateliți de comunicații, a fost proiectat și, parțial, realizat un asemenea echipament. Acesta este privit de către stația de sol ca fiind un satelit. Trebuie să fie amplasat la o distanță constantă, având parametri bine cunoscuți.

Deoarece acesta nu va zbura în spațiu, cerințele asupra sa sunt mai relaxate. Astfel nu se impun cerințe privind rezistența la șocuri și vibrații sau radiații precum și la comportarea în vid. Parametrul cel mai restrictiv este temperatura, care, la nivelul plăcilor electronice, poate varia de la -30 grade până la peste 70 grade Celsius. De asemenea trebuie montat într-o incintă transparentă (fiind alimentat cu panouri fotovoltaice), etanșă la apă.

3.1 Testarea stațiilor de sol

În cazul sateliților cu orbită joasă (până la câteva sute de km), cum sunt majoritatea, durata unei rotații în jurul Pământului este de ordinul a 90 la 100 minute. De asemenea, prin zona de acoperire a unei stații de sol, în evoluția sa, un satelit trece doar de câteva ori pe zi. O altă problemă este că o trecere dată este doar de ordinul a 10 minute. Astfel, din 24 ore, în raza unei stații de sol, timpul efectiv de contact este de ordinul zecilor de minute. Acest timp se mai reduce câteodată din cauza unor obiecte sau structuri care obturează orizontul stației de sol sau sunt treceri la unghiuri de elevație prea mici (care presupun distanțe stație - satelit prea mari, ce pot duce la erori de decodare a semnalelor).

În aceste condiții orice informație recepționată de la satelit este foarte importantă. În verificarea și testarea funcționării unei stații de sol, se folosesc mai multe metode. În primul rând, ca și la alte componente ale tehnicii spațiale, se folosește lista de verificare (*check-list*), în care sunt specificați pașii de urmat, în timp, precum pornirea, verificarea, folosirea și apoi oprirea stației de sol etc.

Testarea stațiilor de sol se poate face prin simulări *software* sau folosind un *hardware* specializat. Prin teză s-a propus realizarea unui echipament *hardware* cu comportare de satelit, amplasat la o distanță fixă față de stația de sol, având funcționare independentă. În realizarea practică, s-au impus următorii parametri tehnici:

- dimensiune: cub cu latura de aproximativ 18 cm, fără limite de greutate;
- alimentare autonomă cu celule solare;
- transponder liniar cu banda la intrare de la 144,66 la 144,69 MHz (conform planului IARU) [41];
- transponder liniar cu banda la ieșire de la 432,66 la 432,69 MHz (conform planului IARU) [41];
- o baliză de verificare a nivelului semnalului, transmițând date telemetrice;
- posibilitatea de a citi parametri de funcționare și a comanda diverși parametri precum: frecvențe, puteri, funcționarea unor blocuri etc.

3.2 Schema bloc

Schema bloc a simulatorului este dată în Figura 31, unde prin hașurare se indică gradul de implementare al sistemului.

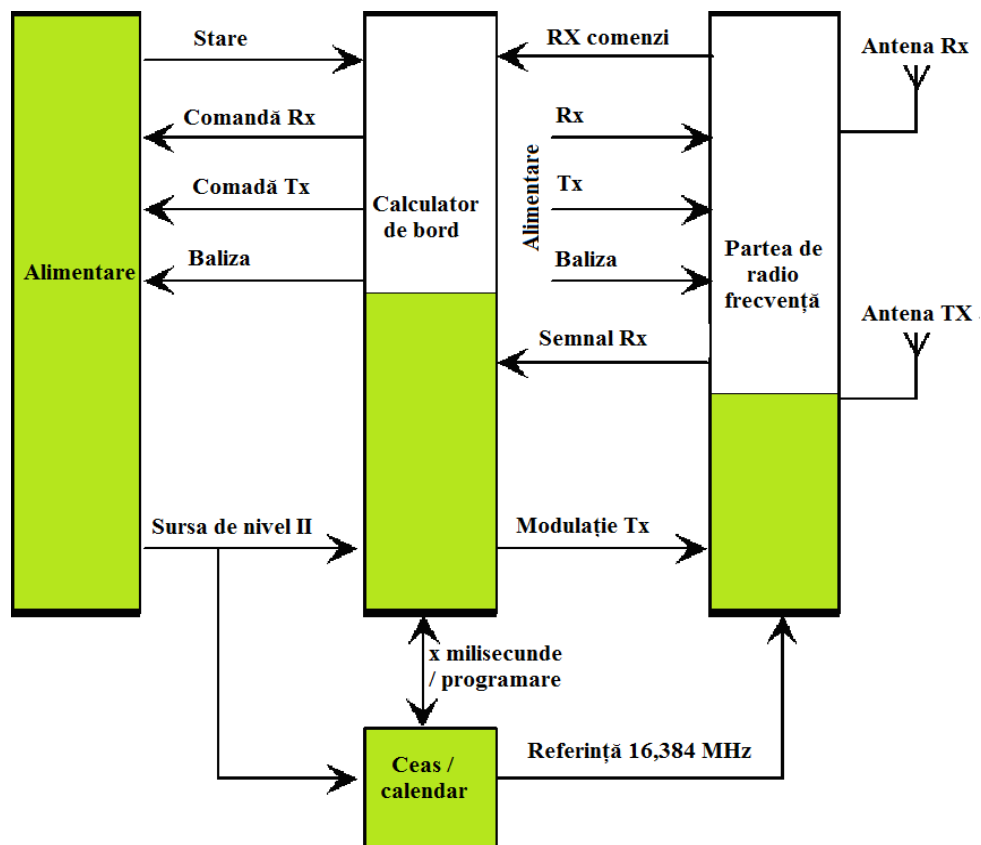


Figura 31 Schema bloc a simulatorului de satelit, cu implementarea realizată [AD]

Blocul de alimentare și blocul ceas/calendar sunt implementate *hardware* complet, urmând a se face doar ușoare modificări *software* în controlerele respective. Blocul de radiofrecvență are cea mai mică implementare. Sunt realizate circuitele PLL necesare generării frecvențelor de emisie și recepție și a fost realizat circuitul de detecție a datelor, folosind un amplificator cu histerezis.

3.3 Calculul puterii de radiofrecvență necesare în antenă

În primul rând a fost analizată puterea de emisie necesară, astfel încât simulatorul să fie sesizat ca fiind satelit. S-a ținut cont de distanța dintre simulator și stația de sol și de antenele folosite.

În cazul simulatorului de satelit, pentru simplificare, nu se iau în considerație reflexiile, împrăștierea semnalului și difracția. Această simplificare nu duce la rezultate eronate deoarece cele două puncte (stația de sol și simulatorul) se află în puncte fixe, cu vizibilitate directă, iar mediul este presupus, în general, fără modificări în timp.

Luând ca exemplu situația comunicațiilor cu Stația Spațială Internațională, pe 145,800 MHz, care se află la o înălțime de aproximativ 400 km, rezultă o atenuare în spațiu liber de:

$$A[dB] = 92,445 + 20 \lg 400 + 20 \lg 0.146 = 127.78 \quad (2)$$

Atunci când emițătorul este la 1 km distanță (pe frecvența de 432,66MHz), atenuarea este de:

$$A[dB] = 92,445 + 20 \lg 1 + 20 \lg 0.43266 = 85.16 \quad (3)$$

Dacă dorim o echivalare a nivelului semnalului, nivelul de putere al emițătorului trebuie să fie mai mic cu diferența de atenuare din cele două cazuri, adică 42,6 dB. La Stația Spațială Internațională se folosește de obicei, în aceste benzi o putere de 5W, adică aproximativ 37 dBm. În aceste condiții un simulator care să genereze un semnal echivalent la nivelul stației de sol, ar trebui să emită cu un nivel de aproximativ -5.5 dBm, adică aproximativ 300 μW! Nu s-a ținut cont de o serie de fenomene care se întâlnesc în practică. Chiar dacă dorim o oarecare marjă a nivelului semnalului recepționat la stația de sol, se observă faptul că la simulator sunt necesare totuși puteri foarte mici. Astfel din sursa de energie, chiar cu randamente mici, nu sunt necesare puteri semnificative, mai importante fiind fiabilitatea și flexibilitatea sa.

3.4 Puterea electrică disponibilă

Sursa de alimentare a simulatorului de satelit a fost construită folosind 4 panouri fotovoltaice, stocarea energiei fiind preluată de o baterie cu două condensatoare de câte 500 F fiecare, conectate în paralel. [42]

Urmărirea funcționării blocului de alimentare este realizată folosind un procesor de la Texas Instruments, de tipul MSP430G2553 [43]. Deoarece acest circuit nu are decât 8 intrări analogice, a fost necesară folosirea a două multiplexoare analogice. Folosirea multiplexoarelor permite măsurarea unui număr de 16 mărimi analogice, la care s-a adăugat temperatura internă a procesorului.

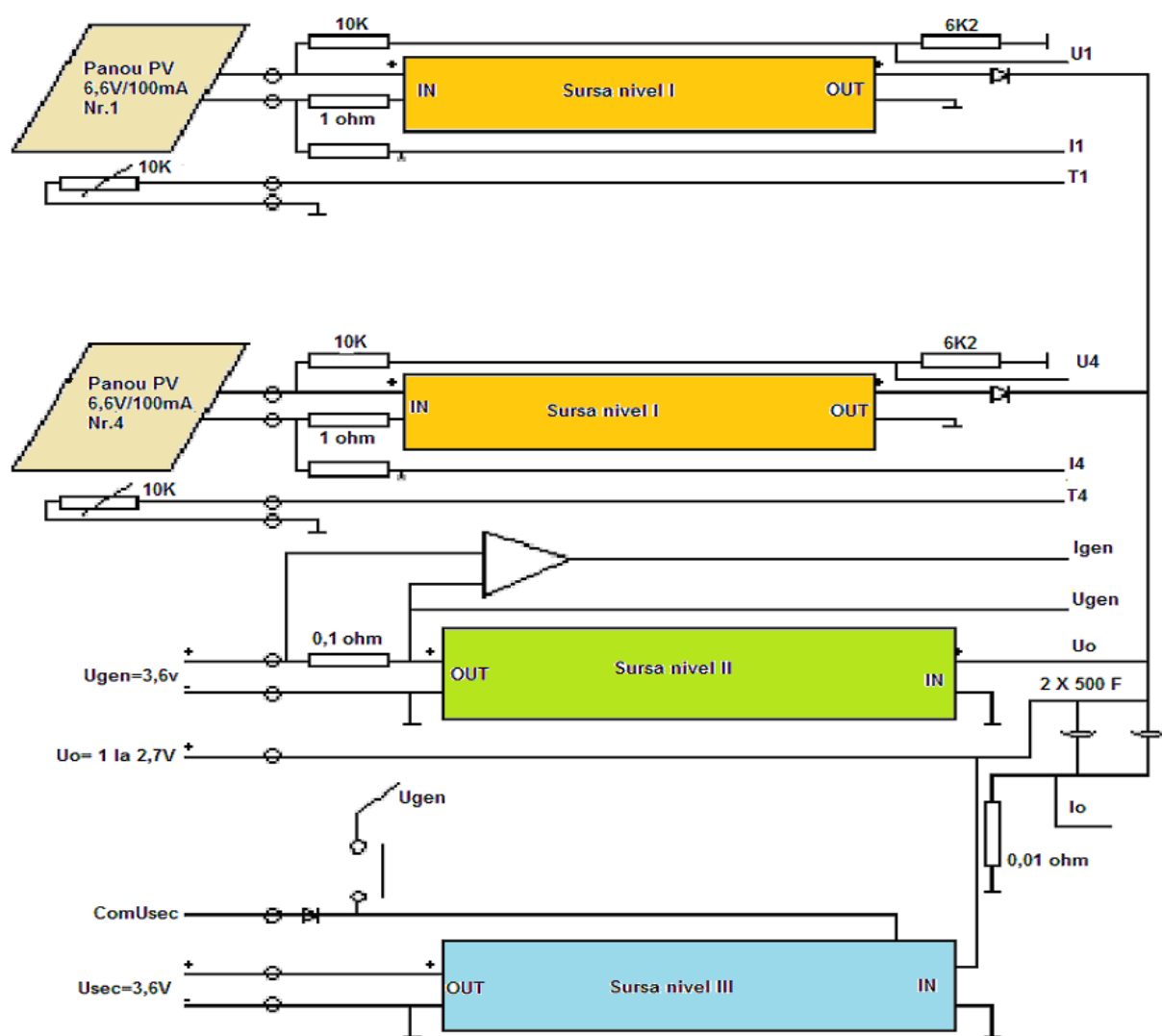


Figura 32 Schema bloc generală, a sursei de alimentare, proiectată de autor [AD]



Figura 33 Sursele de nivel I și unul din condensatorii de 500 F [AD]

Toate blocurile au fost montate pe o structură mecanică și apoi conectate electric împreună (conform diagramei din Figura 32, cu observația că microcontrolerul a fost alimentat din exterior, pentru a putea face măsurători și atunci când sursa de nivel II nu funcționează încă). Totul a fost acoperit cu un bac de sticlă de la un acumulator staționar cu plumb, cu scopul de a proteja sistemul de intemperii, pe timpul testelor. Întregul ansamblu a fost amplasat pe platforma antenelor de la stația de sol independentă. Datele achiziționate, după conversiile necesare, sunt reprezentate grafic în Figura 34.

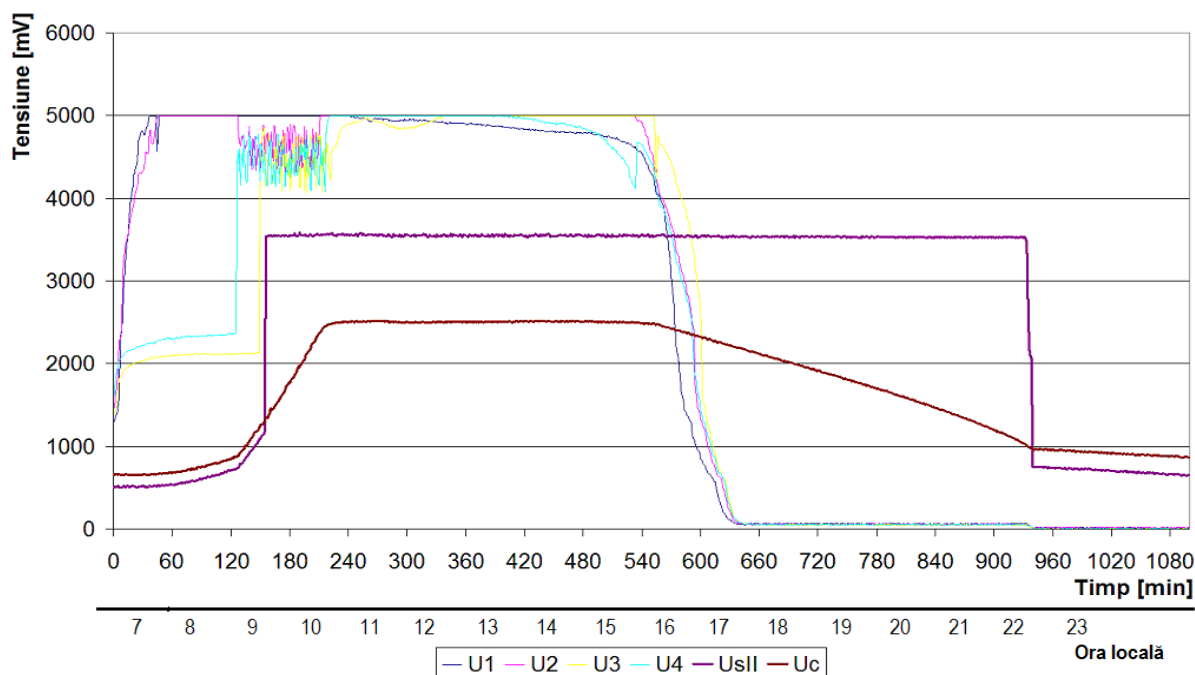


Figura 34 Rezultatele finale ale testelor sistemului de alimentare a simulatorului [AD]

Din analiza datelor, s-au reținut următoarele observații utile la proiectarea celorlalte blocuri funcționale din simulatorul de satelit:

- durata de încărcare la maxim a supercapacitorului este de aproximativ 2 ore, în principal prin panourile de pe est și sud; un timp mai bun (sub o oră) se poate obține doar fără bacul de sticlă sau folosind unul dintr-o sticlă mai subțire și mai transparentă;
- valoarea curenților și a temperaturilor sunt conform așteptărilor (în succesiunea est - sud - vest);
- în perioada de timp în care tensiunea pe supercapacitor este maximă, energia obținută la ieșire nu este preluată din cea stocată ci direct din panourile fotovoltaice;
- durata de funcționare a sursei de nivel II, numai din supercapacitor, depinde de consum și este de ordinul orelor.

3.5 Oscilatorul de referință cu compensarea activă a frecvenței

În ultimele decenii, complexitatea sistemelor spațiale este în creștere, la fel și cantitatea de date de transferat între sateliți și sol. Cea mai simplă soluție pentru a răspunde acestor cerințe constă în creșterea frecvenței utilizate, putând fi obținute astfel benzi de frecvențe cu un spectru mai larg. Pe măsură ce frecvența crește, cerințele pentru stabilitatea oscilatorului intern devin însă tot mai stricte.

Creșterea stabilității oscilatoarelor se face, de obicei, prin: folosirea de condensatoare ceramice cu coeficienți de variație ai capacității pozitivi și/sau negativi, care compensează variațiile de frecvență datorate modificărilor de temperatură. Cristalele de cuarț se folosesc, de asemenea, pentru stabilizarea frecvenței, având rezultate remarcabile. În cazul lor, curba de variație a frecvenței este dată de unghiul de tăiere al cuarțului.

În prezent, o metodă frecvent utilizată pentru a obține o frecvență stabilă este introducerea oscilatorului cu cristal de cuarț într-un “cuptor” (așa numitul OCXO, sau *Oven Controlled X-tal Oscillator*). În acest caz, oscilatorul este încălzit și menținut la o temperatură cu câteva grade mai mare decât cea mai ridicată temperatură preconizată a fi întâlnită în timpul funcționării oscilatorului și, prin urmare, abaterile de temperatură sunt astfel împiedicate. Deși această metodă este foarte eficientă în ceea ce privește stabilizarea frecvenței, ea are ca dezavantaj major consumul ridicat de energie.

O altă tehnică de stabilizare folosită în mod obișnuit se bazează pe un oscilator cu cristal compensat folosind diode varicap comandate de un microcomputer (MCXO)[46]. Metoda a fost aplicată din ce în ce mai mult (de exemplu în cazul telefoanelor mobile), sau în oscilatoarele cu sisteme micro-electro-mecanice (MEMS) [47]. Comparativ cu oscilatoarele necompensate, această soluție îmbunătățește stabilitatea cu câteva ordine de mărime. Ca dezavantaj, această soluție este destul de complexă, iar în unele cazuri consumul de energie este destul de ridicat. Trebuie menționat că, pe lângă aplicațiile cu scop general, există și aplicații în care precizia este esențială (de exemplu sateliți GPS, echipamente de laborator și militare) și, prin urmare, bugetul este mai puțin restrictiv. În aceste cazuri, se folosesc ceasuri atomice de înaltă performanță pe bază de rubidiu sau cesiu.

Chiar dacă soluțiile menționate anterior și-au demonstrat eficiența în ceea ce privește stabilizarea frecvenței, consumul ridicat de energie, greutatea și/sau volumul ridicat sau prețul ridicat pot fi considerate neajunsuri majore în unele aplicații. Un exemplu este seria de sateliți CubeSat [48], care sunt limitați la un volum de 1 dm^3 , o greutate de 1 kg și o putere medie totală disponibilă sub 1 W (pentru formatul 1U). În astfel de contexte, folosirea uneia dintre soluțiile menționate mai sus este absolut imposibilă.

Pe de altă parte, cercetarea timpurie a arătat că dielectricul din titanat de bariu și stronțiu (BST) are proprietatea de a își modifica constanta dielectrică la aplicarea unor niveluri diferite de câmp electric [49]. Cercetări recente au arătat că această proprietate poate fi utilizată la dezvoltarea unor condensatoare controlate în tensiune, care pot fi folosite în circuite de acord sau oscilatoare. Astfel, oscilatoarele nou dezvoltate au avut o liniaritate mai bună, performanțe îmbunătățite ale zgomotului de fază, armonici mai mici și o stabilitate termică mai bună. În [50], performanțele condensatorului BST sunt comparate cu cele ale diodei varicap. Rezultatele au arătat că aceste condensatoare au avut o liniaritate mai bună a frecvenței de variație în ceea ce privește tensiunea de control și, de asemenea, o puritate mai bună a semnalului generat.

În contextul menționat mai sus, s-a abordat problema compensării variațiilor frecvenței sub influența variațiilor puternice de temperatură. Astfel se iau în considerare variații de temperatură între -20 și $+85^\circ \text{C}$ și restricții de alimentare, adică maxim 8 mA la 3,5 V [42]. Soluția propusă se bazează pe utilizarea unui condensator BST împreună cu un *driver* cu oscilator cu cristal, de putere redusă și controlul frecvenței folosind un procesor cu un consum foarte mic de putere. Spre deosebire de alte abordări, unde condensatoarele BST au fost

dezvoltate în laborator și, prin urmare, rezultatele lor sunt destul de greu de reconstituit de alții, în cazul de față s-a folosit un condensator BST, denumit comercial STPTIC [51]. Prin urmare, designul propus poate fi reprodus sau îmbunătățit cu ușurință de alții, favorizând tranziția spre aplicații comerciale.

Dintre oscilatoarele prezentate, oscilatorul cu cristal, compensat de un microcomputer (MCXO) pare a fi cel care se potrivește cel mai bine cu cerințele de stabilitate a frecvenței și, de asemenea, cu o cerere de consum foarte redusă. Astfel, este posibilă compensarea tuturor variațiilor de frecvență cauzate de influența temperaturii, de variațiile tensiunii de alimentare și de îmbătrânirea componentelor. În plus, în situații extreme, MCXO poate compensa și variațiile datorate influențelor mecanice (de exemplu vibrații, accelerații).

S-a propus un oscilator cu cristal de 16,384 MHz utilizat ca referință pentru programarea timpului (16,384 MHz împărțit la 500 este egal cu 32,768 Hz - frecvența cea mai frecvent utilizată în aplicațiile de ceas și timp), dar și ca referință de frecvență pentru unul sau mai multe circuite cu circuit cu calare de fază (PLL), responsabile pentru generarea frecvențelor necesare în simulatorul de satelit.

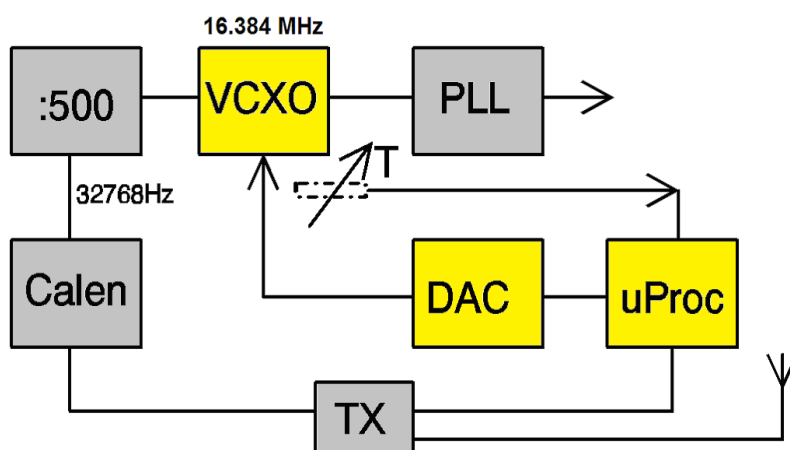


Figura 35 Schema bloc a oscilatorului cu compensare activă a frecvenței [AD]

Schema bloc a oscilatorului cu compensare activă a frecvenței este ilustrată în Figura 35 și a fost prezentată în [52]. Aceasta conține un oscilator cu cristal comandat în tensiune (folosind ca element de control un condensator BST), un convertor digital-analogic (DAC) de 16 biți și un microprocesor cu termometru încorporat. Curbele de variație a frecvenței în funcție de temperatură, furnizate de foile de catalog, sunt relevante numai pentru cristalul însuși și nu pentru oscilator, ca întreg. Dar oscilatorul are și alte componente sensibile la temperatură care influențează frecvența acestuia (adică condensatoare, elemente active etc.). Pentru a compensa și aceste variații, microprocesorul utilizează un tabel de corecție a tensiunii, determinat pentru fiecare oscilator individual. Tabelul de compensare al frecvenței este determinat prin combinarea graficelor de variație a frecvenței la variația temperaturii întregului oscilator (determinată experimental - Figura 36) și de variație a frecvenței în raport cu tensiunea de comandă (determinată tot experimental - Figura 37).

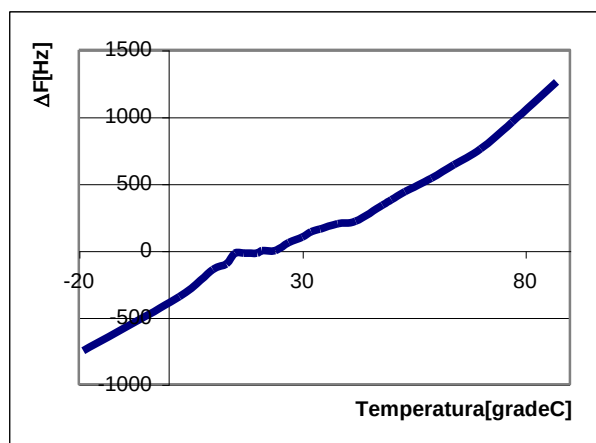


Figura 36 Variația frecvenței de oscilație în funcție de temperatura întregului bloc [AD]

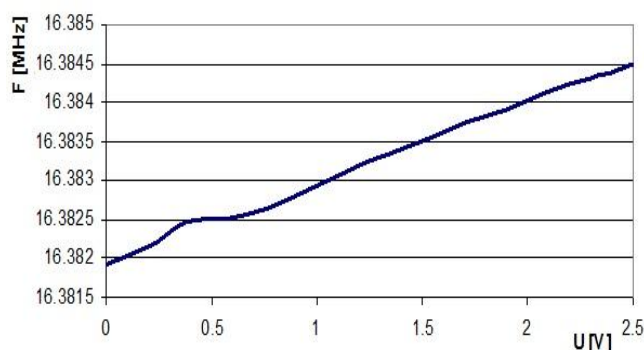


Figura 37 Variația frecvenței VCXO în funcție de tensiunea de comandă [AD]

După stabilirea schemei oscilatorului, următorul pas a fost determinarea variației de frecvență în raport cu tensiunea de comandă (Figura 37). Acest grafic ilustrează limitele de control ale circuitului și faptul că frecvența este strict crescătoare în funcție de tensiunea de comandă (chiar dacă variația nu este strict liniară). Pe baza acestor rezultate se poate concluziona că abaterile de liniaritate sunt acceptabile pentru aplicația prevăzută, în timp ce abaterile mici pot fi compensate cu ajutorul valorilor corespunzătoare date în tabelul tensiunilor de comandă.

Și în acest caz a fost folosit procesorul MSP430G2553 (varianta SMD) [43], programul realizat în limbaj de asamblare. Acesta are încorporat un senzor termic digital pe 10 biți, asigurând o bună linearitate. Fiecărei temperaturi măsurate îi corespunde o anumită variație a frecvenței față de valoarea dorită. Pe de altă parte fiecărei variații de frecvență îi corespunde o anumită tensiune de compensare necesară. Din tabelul intern se citește valoarea necesară care este trimisă serial către convertorul digital analogic.

Tabelul de corecție utilizat conține valorile tensiunii de control, reprezentate ca numere hexazecimale pe 16 biți, în funcție de temperaturi, care sunt măsurate pe 10 biți (cu o rezoluție de 0,611 grade Celsius). În acest caz specific, compensarea frecvenței poate fi realizată în intervalul de temperatură de la - 2,5 la + 87 °C. Dincolo de acest interval, măsurătorile noastre au arătat o variație a frecvenței de 30 Hz pentru o variație de temperatură de 0,611°C. O mărire a intervalului de compensare poate fi realizată prin utilizarea a două condensatoare STPTIC de 6,8 pF dispuse în paralel, modificând unele valori ale elementelor din schema oscilatorului.

Ultimul pas în procesul de evaluare a constat în testarea și verificarea experimentală a oscilatorului, comparând aceste rezultate cu cele obținute în cazul oscilatorului necompensat. Această etapă a implicat analiza comportamentului circuitului într-un interval de temperatură cuprins între 10 și 77°C. După cum este ilustrat în Figura 38, soluția propusă este foarte eficientă din punct de vedere al generării unei frecvențe cu o valoare constantă. Astfel, oscilatorul compensat prezintă o variație a frecvenței de numai 86 Hz, în timp ce oscilatorul necompensat are o variație de frecvență de 1100 Hz (în același interval de temperaturi).

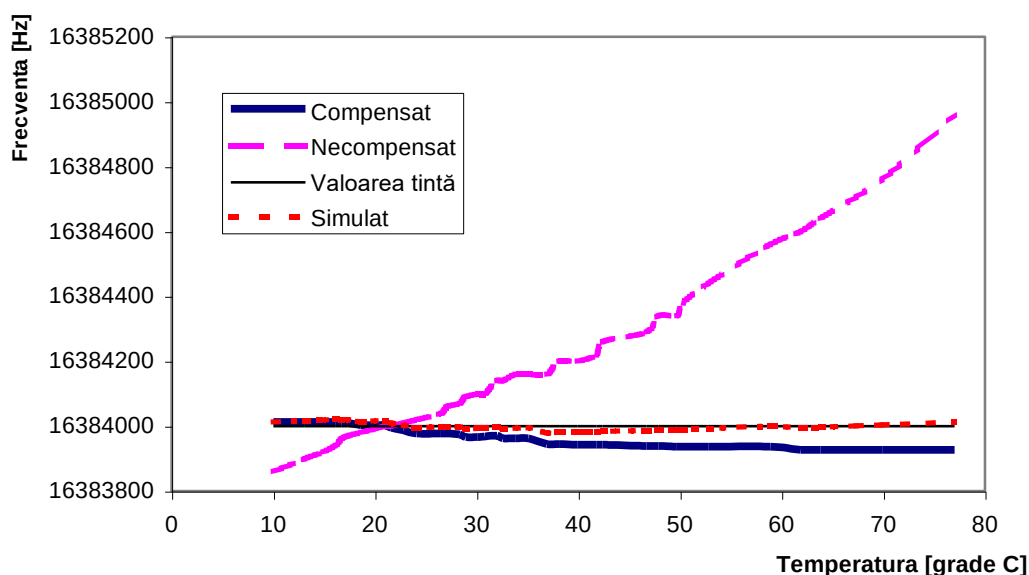


Figura 38 Graficele de variație ale frecvenței, în cazul oscilatorului [AD]

3.6 Frecvențe necesare - Circuitele PLL

Frecvențele solicitate de simulatorul de satelit sunt următoarele:

- 144,675 MHz la transponder, pentru canalul de recepție (mijlocul canalului de recepție);
- 432,675 MHz la transponder, pentru canalul de emisie (mijlocul canalului de emisie);
- 432,650 MHz la emițătorul de baliză.

Cele trei frecvențe s-au obținut prin 3 circuite cu PLL a căror frecvență de referință a fost 16,384 MHz, dar nu vor funcționa în permanență, astfel reducându-se consumul de energie electrică. Perioadele de funcționare ale fiecăruia vor fi determinate, în funcție de condiții, de către calculatorul de bord, ținând cont de timpul necesar pentru pornirea și calarea buclelor respective, și vor fi aproximativ următoarele:

- PLL-ul de la recepție transponder:
 - ciclu pornit/oprit de aproximativ 1/5 din timp, atunci când nu avem semnal la intrarea receptorului;
 - pornit, în momentul în care avem un semnal la intrarea în transponder și 2-3 secunde după dispariția semnalului;
- PLL-ul de la emisie transponder, numai pe perioadele în care PLL-ul de la recepție transponder este pornit continuu (nu și în perioada în care nu avem semnal la intrarea în receptor);
- PLL-ul balizei, numai pe perioada necesară transmisiei tramei balizei.

Implementarea în practică a fost făcută folosind circuitele integrate ADF4001 (recepție) [53] și ADF4116 (emisie) [54], produse de către Analog Devices. Au fost alese aceste circuite deoarece nu conțin în ele oscilatorul VCO. Se pot propune astfel scheme de oscilatoare externe, folosind ca elemente de control al frecvenței aceleași condensatoare BST, utilizate și în cazul oscilatorului de referință.

3.7 Calculatorul de bord al simulatorului de satelit

Sistemul care ia decizii privind funcționarea întregului simulator de satelit (calculatorul de bord) este un sistem multiprocesor bazat pe procesoare din seria MSP430G2, fiecare având un rol bine determinat în sistem. În Figura 39 sunt prezentate blocurile funcționale ale calculatorului de bord, acestea urmând a fi descrise mai jos. Trebuie menționat faptul că în faza actuală a testelor, atât semnalele de control cât și funcțiile blocurilor sunt aproximative, în final existând posibilitatea unor ajustări.

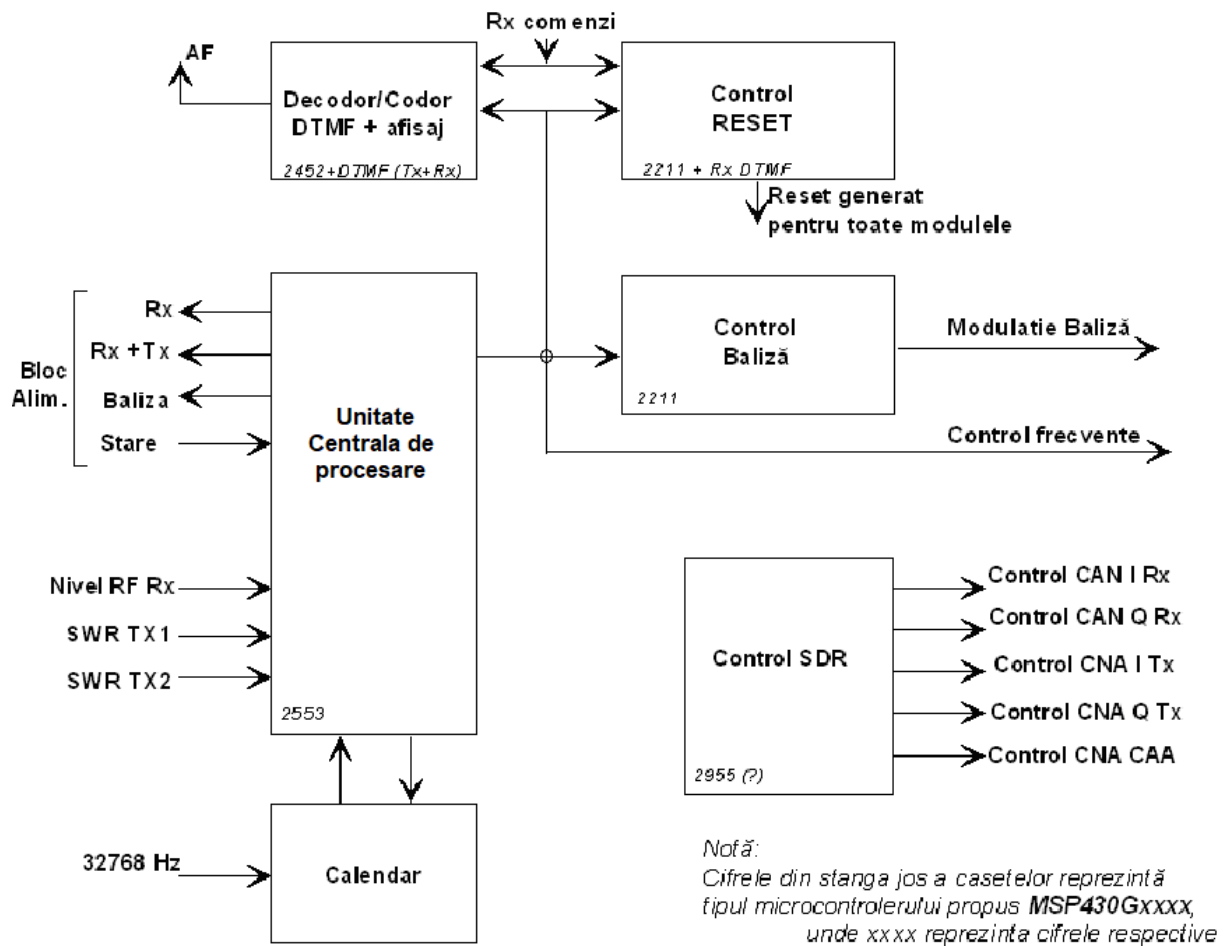


Figura 39 Schema bloc a calculatorului de bord [AD]

Astfel:

- semnalul *Rx comenzi*: este în gama de frecvențe de zeci de kHz, cu modulație de frecvență, prelucrat analogic (după mixajul din blocul de recepție);
- blocul *Control RESET*: generează un semnal de RESET către toate blocurile digitale (evitând rămânerea în stare necunoscută a întregului sistem, fără a șterge calendarul);

- blocul *Control Baliză*: pregătește pachetul de date care va fi transmis periodic, pornește emițătorul pe frecvența de 432,65 MHz, apoi îl transmite (conținutul blocului de date nu a fost stabilit încă);
- blocul *decoder/codor*: este conectat la sistem numai în timpul testelor de laborator;
- Blocul Control SDR: asigură conversiile analog digitale și digital analogice necesare funcționării transponderului liniar;
- *Unitatea centrală de procesare*: este alimentată în permanență și ia deciziile necesare funcționării tuturor blocurilor funcționale:
 - măsoară tensiunea de alimentare;
 - pornește diferite surse de alimentare;
 - măsoară diferiți parametri (nivel RF la recepție, nivele SWR, temperaturi etc.);
 - controlează frecvențele buclilor PLL și frecvența oscilatorului de referință;
 - citește sau scrie data/ora în blocul Calendar;
 - trimite datele blocului *Control Baliză*;
 - alte funcții care se vor implementa în viitor.
- blocul *Calendar*: este alimentat în permanență și asigură ora și data de la bord (funcție implementată cu un procesor separat de tip MSP430G2211).

Dialogul dintre blocurile calculatorului de bord va fi prin transmisie serială, folosind câte 2 pini de semnal de la fiecare bloc. Implementarea *software* folosește pinii respectivi ca semnal de date și de ceas. În fiecare caz în parte este ales blocul care îndeplinește funcția de *master* sau pe cea de *slave*.

3.8 Recuperarea semnalelor înecate în zgomot

În cazul semnalelor digitale transmise prin diverse medii, acestea pot fi deformate sau însoțite de zgomote. Recunoașterea comenzilor date către simulatorul de satelit s-a efectuat prin recunoașterea frecvenței de 144,65 MHz, care prin mixare cu 144,675 MHz generează o frecvență de 25 kHz. În continuare semnalul modulat în frecvență, este demodulat analogic.

La ieșirea demodulatorului s-au folosit circuite de comparare cu reacție pozitivă, obținându-se un efect de histerezis. Astfel, dacă frontul semnalului crește, pragul la care se ia decizia că acesta are valoarea 1 este diferit de pragul la care decizia indică valoare 0, în momentul în care semnalul scade, și este mai mic tocmai cu valoarea histerezisului. [55]

În domeniul circuitelor digitale, există un circuit funcțional echivalent – triggerul Schmitt, dar la acesta pragul și valoarea tensiunii de histerezis sunt fixe, prin proiectarea circuitului.

Adaptarea la caracteristicile canalului de comunicații (nivel, distorsiuni, zgomote) presupune schimbarea atât a referinței cât și a domeniului de histerezis. Tocmai în acest scop s-au folosit potențiometre cu comandă digitală, aflate sub control *software*.

Schimbarea adaptivă a tensiunii de referință (V_{ref}) s-a făcut prin folosirea unui potențiometru digital R0 care divizează tensiunea de alimentare prin comandă *software*. Schimbarea adaptivă a domeniului de histerezis (V_h în relația (1)) s-a făcut cu două potențiometre digitale, R1 și R2, conectate pe bucla de reacție pozitivă, de asemenea prin comandă *software*. Dacă cele două potențiometre digitale sunt de 100 kohmi, cu o rezoluție de 100 pași, tensiunea de histerezis se poate regla în pași între V_{cc} și $V_{cc}/101$.

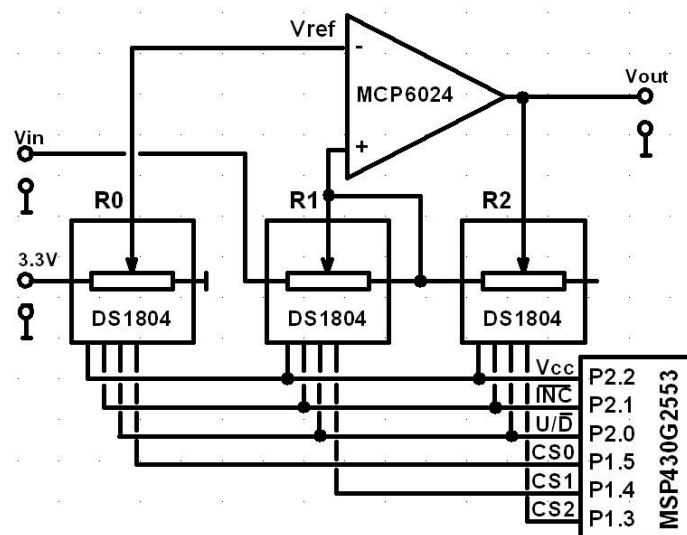


Figura 40 Reglajul domeniului de histerezis cu ajutorul a două potențiometre [AD]

4. Concluzii si perspective viitoare

Pe plan mondial au fost lansați peste 1000 sateliți din seria CubeSat, de către peste 140 entități. În aceste condiții folosirea stațiilor de sol ale agențiilor spațiale este greu de conceput atât financiar cât și tehnic. Un satelit LEO (cu orbită joasă) se află în raza unei stații de sol un timp de numai aproximativ 10 minute la o trecere și sub o oră din timpul unei zile. Soluția logică de a fi în legătură cu sateliții aceștia este doar mărirea numărului de stații de sol, uniform împrăștiate pe suprafața Pământului.

Contribuțiile teoretice prezentate în această teză pot fi rezumate după cum urmează:

- ✓ S-a realizat o analiză generală a domeniului comunicațiilor aerospațiale, identificându-se cerințele impuse în acest domeniu, analizându-se provocările asociate și evidențiindu-se importanța acestui domeniu.
- ✓ S-a analizat și discutat arhitectura generală a unei stații de sol, evidențiindu-se rolul și importanța elementelor componente.
- ✓ S-au analizat diferitele tipuri de antene folosite în tehnica spațială, evidențiindu-se avantajele și dezavantajele utilizării diferitelor tipuri de antene, în diverse aplicații.
- ✓ A fost analizată influența locației asupra parametrilor unei stații de sol, analizându-se influența interferențelor radio și a orizontului radio.
- ✓ A fost realizată o analiză asupra aplicațiilor software necesare recepționării și decodării datelor provenind de la sateliți.
- ✓ A fost analizată posibilitatea de a folosi supercapacitoare în locul acumulatorilor ca surse de stocare a energiei provenite de la panourile fotovoltaice.

Publicație:

- [1]. **A. Done**, E.-D. Olariu, A. M. Cailean, S.-A. Avatamanitei, "Green power supply for an intelligent traffic light enhanced with visible light communications capability", *International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, Link: <http://www.dasconference.ro/>, 10.1109/DAAS.2018.8396082, 2018, ISBN: 978-1-5386-1493-8, *ISI Thomson, Web of Science, IEEE Explore*

Prima contribuție a acestei teze este dezvoltarea, implementarea și evaluarea experimentală a unei stații de sol satelitare alimentată cu panouri fotovoltaice, folosind o antenă de concepție și construcție originală.

Publicație:

- [2]. **A. Done**, A. Căilean, C. Leșanu, M. Dimian and A. Graur, "Design and implementation of a satellite communication ground station," *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, Iasi, 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/ISSCS.2017.8034925 *ISI Thomson, Web of Science, IEEE Explore*

În acest sens, principalele contribuții ale tezei pot fi clasificate astfel:

- ✓ Analizarea și caracterizarea antenei *Ground Plane* ca antenă de referință pentru trasarea diagramelor de directivitate ale antenelor, folosind ca generator, semnalele de telemetrie de la sateliți educaționali LEO cu atitudine nestabilizată.

Publicație:

- [3]. **A. Done**, A. Căilean, C. Leșanu, M. Dimian and A. Graur, "Considerations on ground station antennas used for communication with LEO satellites," *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, Iași, 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/ISSCS.2017.8034912 *ISI Thomson, Web of Science, IEEE Explore*

- ✓ A fost proiectat, simulat, implementat și testat un nou tip de antenă cu lungime de $3/4\lambda$ și polarizor circular parazit; a fost realizat prototipul acestei antene verticale cu polarizare circulară utilizabilă în banda de 436 MHz, destinată comunicațiilor cu sateliții.

Publicație:

- [4]. C. E. Lesanu, **A. Done**, "Parasitic circular polarized vertical antennas," *2016 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, Suceava, 2016, pp. 143-149. doi: 10.1109/DAAS.2016.7492564 *ISI Thomson, Web of Science, IEEE Explore*

O alta contribuție extrem de importantă **este dezvoltarea, implementarea și evaluarea experimentală a unei stații de sol satelitare** ce poate fi **controlată, monitorizată și utilizată de la distanță, prin Internet**. Asemenea stații pot asigura recepția semnalelor de la sateliți în benzile de frecvențe alocate acestora din cadrul benzilor de radioamatori de 145 MHz, 436 MHz și 10,5 GHz. În acest caz, receptoarele au fost conectate la sisteme de calcul de tipul Raspberry Pi ver.2 și, respectiv, ver.3, care asigură conectarea la Internet. Mai mult, interfața de control permite utilizatorului controlul la distanță al filtrelor și al unui preamplificator de bandă largă și zgomot propriu redus.

Publicație:

- [5]. **A. Done**, C. Lesanu, A. Căilean, A. Graur and M. Dimian, "Implementation of an on-line remote control ground station for LEO satellites," *2017 21st International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, Sinaia, 2017, pp. 855-859. doi: 10.1109/ICSTCC.2017.8107144 **ISI Thomson, Web of Science, IEEE Explore**

În plus, pentru dezvoltarea celor două stații de sol au fost realizate o serie de contribuții practice și experimentale ce pot fi rezumate după cum urmează:

- ✓ A fost măsurat nivelul semnalelor radio din zona celor două stații, în gama de frecvențe de la 90 la 1000 MHz. Măsurătorile au fost efectuate cu ajutorul unui receptor RTL-SDR și a unui program de analiză a spectrului. Deoarece nivelul semnalelor stațiilor de radiodifuziune FM a fost ridicat, a fost necesară realizarea unor filtre care să reducă acest nivel, în scopul evitării saturării etajelor de intrare în receptoare.
- ✓ S-a lucrat la reducerea zgomotului propriu al receptoarelor folosite (RTL-SDR sau RSP2), fapt ce s-a realizat prin construcția și montarea între antenă și receptor a unui preamplificator cu zgomot propriu foarte mic, fiind folosit un circuit MMIC de tip PGA103+.
- ✓ Au fost proiectate, simulate, implementate și testate o serie de filtre utilizabile în banda de 436 MHz.

Publicație:

- [6] **A. Done**, "A band pass filter for the 436 MHz band", *Acta Technica Napocensis – Electronics and Telecommunications*, ISSN 1221-6542, *Technical University of Cluj-Napoca*, Volume 57, Number 1/2016, pp. 17-21. **BDI**

- ✓ A fost proiectat, simulat, implementat și testat un filtru interdigital cu 5 celule cu cuplaj capacitiv la intrare și ieșire.
- ✓ Au fost studiate, analizate și proiectate mai multe tipuri de antene verticale ce pot fi folosite în vederea utilizării stației de sol pentru detecția reflexiilor radio pe urme de meteoriți.

Publicație:

- [7] C. Lesanu, **A. Done**, A.-M. Căilean, A. Graur, "Vertical Polarized Antennas for Low-VHF Radio Meteor Detection", *International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, Link: <http://www.dasconference.ro/>, 10.1109/DAAS.2018.8396078, 2018, ISBN: 978-1-5386-1493-8, **ISI Thomson, Web of Science, IEEE Xplore**

- ✓ În ceea ce privește stația de sol cu acces de la distanță, aceasta se bazează pe receptoarele RTL-SDR și RSP2. În acest sens, au fost realizate teste de laborator asupra acestor echipamente privind zgomotul și liniaritatea lor.
- ✓ În cazul stației de sol de la Universitate, semnalul digital de la receptor este procesat de rutine din biblioteca *software libcsdr* și un instrument la nivel de linie de comandă, *CSDR*, sub sistemul de operare Linux. Restul instrumentelor *software* care au fost folosite la stația de sol independentă au fost utilizate și la stația de sol cu comandă la distanță: Ansoft

HFSS (simulare filtre), rtlpan.exe (analizor de spectru), MMANA-GAL (simulare antene), GNU Radio Companion (măsurarea practică a nivelului de recepție de la sateliți), SDRsharp (recepție generală cu RTL-SDR) și Orbitron (calcularea traiectoriilor sateliților).

Pentru testarea și evaluarea celor două stații de sol satelitare, a fost ***necesară și conceperea, implementarea și testarea unui simulator de satelit independent***. În acest sens, principalele contribuții sunt:

- A fost proiectată, implementată și testată o sursă de alimentare cu celule fotovoltaice și stocarea energiei în supercapacitori, cu scopul alimentării simulatorului de satelit. Astfel, alimentarea simulatorului de satelit a fost făcută prin panouri solare, cu stocarea energiei în supercapacitori (două supercapacitoare de câte 500F/2,7V), fiind prezentate noi date despre sistemul de alimentare.

Publicație:

[8]. **A. Done**, "Photovoltaic Power Supply with supercapacitors", *3RD IAA Conference, Rome, 2015, IAA-CU-15-03-09, IAA*

- Au fost aduse contribuții la dezvoltarea unui *hardware* optimizat pentru aplicații de consum foarte redus de energie, în conformitate cu cerințele impuse de domeniul aerospațial.
- A fost analizat bilanțul de puteri, discutându-se aspectele ce țin de calculul puterii necesare în antenă și puterea electrică disponibilă.
- Având în vedere faptul că simulatorul de satelit va funcționa în aer liber, intervalul de temperaturi în care acesta va funcționa poate varia între -30 și $70-80^{\circ}$ C. În scopul obținerii unei frecvențe exacte și stabile termic, a fost proiectat, realizat și caracterizat un oscilator cu cuarț, cu compensare activă a frecvenței. Drept element de compensare s-a utilizat un condensator cu titanat de bariu și stronțiu (BST). Frecvența aleasă a fost de 16,384 MHz, deoarece aceasta permite ca prin divizare (folosind un microprocesor MSP430G2211) să se obțină un ceas/calendar de bord, dar, în același timp, și o frecvență de referință pentru cele 3 oscilatoare PLL necesare în simulator.

Publicație:

[9]. **A. Done**, A.-M. Cailean, A. Graur, "Active Frequency Stabilization Method for Sensitive Applications Operating in Variable Temperature Environments", *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol.18, no.1, pp.21-26, 2018, doi:10.4316/AECE.2018.01003 **ISI Impact Factor = 0.699**

- Au fost realizate și caracterizate o serie de filtre de AF, necesare pentru limitarea benzii translatate de către simulator.
- Extragerea semnalelor de comandă din semnalul recepționat s-a făcut folosind un circuit cu histerezis adaptiv. Optimizarea acestuia s-a făcut prin folosirea unor potențiometre comandate digital și urmărirea BER-ului obținut. Astfel, a fost testată comportarea

circuitelor cu histerezis în situația în care avem semnalul util constant, iar zgomotul variază în limite mari.

Publicație:

[10]. M. Dimian, Alin-M. Cailean, **A. Done**, S. Vlad, P. Andrei, "Visible light communication sensors with adaptive hysteretic circuits for automotive applications", *Physica B: Condensed Matter*, 2018, ISSN 0921-4526. **ISI Impact factor: 1.39**

- A fost dezvoltat circuitul de ceas și calendar, implementat în jurul microcontrolerului MSP430G2211, care folosește ca frecvență de referință semnalul de la oscilatorul cu compensare activă a frecvenței.
- A fost dezvoltată schema oscilatorului cu PLL cu frecvența de 145,675 MHz, folosind referința de 16,384 MHz și drept element de control al frecvenței un alt condensator BST.
- În toate fazele în care a fost necesară folosirea unor microcontrolere, s-au folosit microcontrolere din seria MSP430 de la Texas Instruments, a căror programare a fost efectuată de autor, în limbaj de asamblare.

Direcții de cercetare ulterioare:

- *Extinderea gamelor de frecvență și a altor tipuri de modulație și protocoale, la recepție;* un mare număr de sateliți educaționali și de amatori folosesc protocolul de comunicație AX-25, care ar trebui implementat la stațiile de sol.
- *Dezvoltarea unor posibilități de uplink;* în funcție de misiune, anumite stații de sol trebuie să aibă posibilitatea de a transmite comenzi sau semnale spre sateliți. În momentul de față se află în dezvoltare emițătorul spre satelitul geostaționar Eshail-2 în banda de 2400MHz.
- *Folosirea unor antene directive și dezvoltarea unor sisteme de rotire a lor;* deși asemenea sisteme sunt complexe și deci supuse pericolului defectărilor, ele au avantaje certe, mai ales când este vorba de sateliți cu orbite înalte și și având la bord puteri de emisie reduse.
- *Completarea simulatorului de satelit cu facilități complementare noilor dezvoltări ale stațiilor de sol;* în situația în care stația de sol aferentă trebuie să conțină echipamente suplimentare, pentru verificarea lor, simulatorul de satelit trebuie să aibă posibilitatea de conectare.
- *Asigurarea independenței energetice a stației de sol prin utilizarea surselor de energie regenerabile;* din cauza creșterii zgomotului radio din zonele locuite, este o tendință de amplasa stațiile de sol la distanțe tot mai mari față de localități. De asemenea zgomotul poate sosi la stațiile de sol prin liniile de alimentare cu energie electrică. Sunt motive pentru care este necesară studierea surselor de alimentare independente și folosirea lor în cazul stațiilor de sol.

Publicație:

[11]. S.Tănase, G. Radu, F.Năstasă, **A. Done**, Daniela Tănase, *Cum să construim o turbină eoliană - Îndrumător tehnologic pentru proiectarea și construcția turbinelor eoliene*, Tipografia ARTEMIS Import-Export SRL, 2019, Pitești, ISBN: 978-973-0-28873-5

- *Utilizarea noilor tehnologii de comunicații pentru transmiterea de date;* pe plan mondial se utilizează tot mai mult transmiterea datelor între sateliți sau între sateliți și sol, folosind lumina laserilor. Este o direcție de investigat.

Publicație:

- [12] [A.-M. Cailean, M. Dimian, **A. Done**, *Enhanced design of visible light communication sensor for automotive applications: Experimental demonstration of a 130 meters link*, 2018 Global LIFI Congress (GLC), 8-9 feb 2018, Paris, Franța, Link: ieeexplore.ieee.org/document/831910010.23919/GLC.2018.8319100, ISBN: 978-2-9563091-0-9, **ISI Thomson, Web of Science, IEEE Xplore**

Abrevieri

Lista următoare a fost prelucrată după [1][2]

1U – formatul de bază al sateliților din seria CubeSat, care este de 10 x 10 x 10 cm, cu greutate de maxim 1,3 Kg;

AD - Adrian Done

ADC – *Analog-to-Digital Converter* – convertor analog digital;

ADCS - *Attitude Determination and Control* - determinarea și controlul atitudinii;

AF - *Audio Frequency* - frecvență audio;

AFSK - *Audio Frequency Shift Keying* – manipulare prin deplasarea frecvenței audio;

AMSAT – denumire înregistrată pentru *Radio Amateur Satellite Corporation*, Organizație non-profit științifică și educațională din Washington care construiește și operează sateliți de radioamatori. Există mai multe grupuri naționale AMSAT: -NA pentru US, -UK pentru Anglia, -I pentru Italia etc;

AO - **AMSAT OSCAR** - sistem de codificare al sateliților de amatori construiți de către AMSAT;

ARM - *Advanced RISC Machines* - mașină (procesor) RISC avansată;

Atitudine – Poziție a navei în spațiu, determinată de înclinarea axelor sale față de un punct fix de pe Pământ;

AUS - Universitatea Americană Sharjah;

Azimut – Direcția (în planul orizontal) spre un punct dat de pe Pământ, în grade. Se consideră: nord = 0 sau 360 grade, est = 90 grade, sud = 180 grade, vest = 270 grade;

Baliză – mulți sateliți transmit un text constant sau cu date vitale pentru misiune, de multe ori în alfabetul Morse, pe o frecvență lângă banda de trecere a transponderului. Este utilă pentru a detecta când satelitul trece peste orizont și deci este disponibil pentru operare. Este folosită și pentru a determina diferența de frecvență datorată efectului Doppler;

Banda de trecere – o gamă de frecvențe ce trec printr-un translator sau transponder (**BW** - *Bandwidth*);

BER – *Bit Error Rate* – rata de erori sau numărul de biți eronați raportat la numărul total de biți transferați, într-un interval de timp;

BPSK – *Binary Phase Shift Keying* – manipulare binară prin schimbarea fazei;

BST - *Barium Strontium Titanate* - Titanat de bariu și stronțiu;

Cubesat - standard de construcție a sateliților în care dimensiunea lor este multiplu de 1dm³ (10 x 10 x 10 cm) și greutatea de aproximativ 1 kg; această dimensiune și greutate sunt numite 1U; pot exista și sateliți multiplu, numiți 2U, 3U, 6U sau 12U; standard propus de către *California Polytechnic State University* (Cal Poly) și *Stanford University*;

CAN - Convertor Analog Numeric;

CSTA – Clubul Sporturilor Tehnico-Aplicative;

CW – *Continuous Wave* – purtătoare continuă – prescurtare care desemnează ca tip de modulație transmisia de telegrafie prin alfabetul Morse, prin tot-sau-nimic (de tip *ON/OFF*);

DAC – *Digital-to-Analog Converter* – convertor digital la analog;

dBi – câștigul unei antene în decibeli, față de radiatorul izotrop;

dBm – nivel absolut de putere, în decibeli, față de 1 mW;

dBW – nivel absolut de putere, în decibeli, față de 1 W;

DH - *Data Handling* - manipularea datelor;

Downlink – frecvența pe care satelitul transmite spre Pământ, pentru recepție de către stațiile de la sol;

DRO - *Dielectric Resonant Oscillator* - oscilator cu dielectric rezonant folosit în vechile LNC-uri pentru recepția sateliților de televiziune;

DSP - *Digital Signal Processor* - prelucrarea digitală a semnalelor;

DTC - *Data Transfer Controller* - bloc funcțional din cadrul microcontolelor MSP430 care are funcția de a transfera datele rezultate din conversiile analog-digitale, fără intervenția unității centrale de calcul;

"dummy load" - "încărcătură falsă"; încărcătură a unei rachete care are rolul de a testa posibilitățile acelei rachete; este o încărcătură care, în caz de eșec al lansării, nu produce pagube; în electronică, este o sarcină (de obicei o rezistență) a unui amplificator (de audio sau radio frecvență) sau a unei surse de alimentare, care are rolul de a verifica funcționarea corectă a aceluiași bloc;

Efect Doppler – o schimbare aparentă a frecvenței undelor rezultată din mișcarea relativă dintre emițător și receptor. Apare datorită mișcării satelitului spre sau dinspre locația de la sol. Atunci când satelitul vine spre stația de sol, efectul Doppler crește aparent frecvența. Atunci când satelitul se îndepărtează, frecvența aparent scade;

EFHW - *End Feed Half Wave* - antenă cu lungimea de jumătate de lungime de undă, alimentată de la un capăt;

EIRP - *Effective Isotropic Radiated Power* - Puterea Radiată Echivalentă Izotropică

Elevație – unghiul cuprins în planul vertical ce conține stația de sol și satelitul, dintre orizontala locului și direcția dintre stația de sol și satelit;

EME – *Earth – Moon – Earth* – comunicații prin reflexie pe Lună

EPS - *Electric Power System* - sistemul de alimentare cu energie electrică a unui satelit;

Es - *E Sporadic* – reflexii radio pe stratul ionosferic E;

ESA – *European Space Agency* – Agenția Spațială Europeană;

ESEO – *The European Student Earth Orbiter* – este o misiune a unui microsatelit pe orbită LEO, cu scop educațional;

Fading – variație a semnalului recepționat, în timp, datorat în cazul sateliților, rotirii axei lor în spațiu, relativ la poziția/polarizarea antenei de recepție;

FIFO - *First In, First Out* - metodă de manipulare a unui *buffer* de date, în care cea mai veche intrare (prima) este procesată mai întâi;

FM – *Frequency Modulation* - Modulație de Frecvență;

GNU Radio - este o unealtă *software* gratuită care permite realizarea unor blocuri de prelucrare cu scopul implementării unor SDR-uri sau a unor sisteme de prelucrare ale semnalelor;

GPSDO - *GPS Disciplined Oscillator* - oscilator cu frecvența stabilizată după cea a sistemului GPS;

GRC - *GNU Radio Companion* - este o interfață grafică pentru dezvoltarea aplicațiilor sub GNU radio;

GS – *Ground Station* – stație de sol;

GSM - *Global System for Mobile communications* - este un standard dezvoltat de către *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) care descrie protocoalele pentru

cea de-a doua generații (2G) de rețele celulare digitale;

HFSS - *High-Frequency Structure Simulator*

HTML - *HyperText Markup Language* - limbaj pentru crearea și marcarea (formatarea) unui document astfel încât să poată fi publicat pe web;

IARU – *International Amateur Radio Union* – Uniunea Internațională a Radio Amatorilor

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*;

ISRO - *Indian Space Research Organization* - Organizația Indiană de Cercetare a Spațiului;

ISS – *International Space Station* – Stația Spațială Internațională;

LEO – *Low Earth Orbit* – orbită joasă;

LNA – *Low Noise Amplifier* – amplificator cu zgomot redus;

LNC - *Low Noise Converter* - convertor de frecvență cu zgomot redus;

MBRSC - *Mohammed Bin Rashid Space Centre* - Centrul Spațial Mohammed Bin Rashid din Emiratele Arabe Unite;

MCC – *Mission Control Center* – centrul de control al misiunii;

MCXO – *Microcontroller Compensated X-tal Oscillator* – oscilator cu cristal compensat de către un microcontroler;

MEMS - *Microelectromechanical systems* - sisteme micro electro mecanice

MEO – *Medium Earth Orbit* – orbită medie;

MMIC – *Monolithic Microwave Integrated Circuit* – circuit integrat de microunde monolitic;

NASA – *National Aeronautics and Space Administration* – Administrația Națională pentru Aeronautică și Spațiu a Statelor Unite;

NF - Noise Figure - factorul de zgomot;

OCXO - *Oven Controlled X-tal Oscillator* - oscilator cu cuarț introdus într-o încălțită cu temperatură controlată (de obicei încălțită);

Orbită geostaționară – un satelit aflat pe o orbită circulară la aproximativ 35786 Km deasupra ecuatorului, astfel satelitul pare fix deasupra unui punct (satelitul trebuie să se rotească în același sens cu rotația Pământului); un satelit aflat pe o asemenea orbită se numește **satelit geostaționar**;

Open Source – sistem de distribuție al programelor de calculator în care pe lângă programul executabil, se distribuie și programele sursă corespunzătoare;

OSCAR – *Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio*;

PLL – *Phased Locked Loop* – oscilator cu circuit de calare a fazei;

PSK - *Phase-shift keying* - este un mod de modulare digitală prin schimbarea fazei unui semnal de frecvență constantă (purătoare);

RF – *Radio Frequency* – Radio Frecvență;

RISC - *Reduced Instruction Set Computer* - calculator cu set redus de instrucțiuni;

RTL-SDR – este un receptor SDR foarte ieftin (de la 7 USD) destinat inițial pentru recepția TV; are la bază circuitul integrat RTL 2832U și asigură recepția unei game de frecvențe cuprinse între 24 și 1700 MHz;

SAR - *Successive Approximation Register* - registru de aproximări succesive;

SatNOGS - este o stație de sol *open source* și o rețea de stații de sol, optimizate pentru modularitate;

SDR – *Software Defined Radio* – sistem radio definit prin *software*;

Serviciu de radioamatori - serviciu de radiocomunicații cu scopul de auto-instruire, comunicare și investigații tehnice, efectuate de către persoane autorizate legal, interesate de tehnica radio, numai cu un scop personal și fără un interes pecuniar (Articolul 3 din Ordonanța pentru Legea Radioului, după cum este definit de ITU (*International*

Telecommunication Union));

SMA – *SubMiniature version A connector* – conector subminiatură, versiunea A;

SMD - *Surface Mounting Device* - componente montate direct pe suprafața plăcii cu cablaj imprimat;

SSB – *Single Side Band* – modulație cu Bandă Laterală Unică (BLU);

SSTV - *Slow Scan TV* - televiziune cu baleiaj lent;

Stație de sol – stație radio, pe sau aproape de suprafața Pământului, destinată să transmită sau să recepționeze informații, spre/sau, de la o navă cosmică;

STEM - *Science, technology, engineering, and mathematics* - știință, tehnologie, inginerie și matematică;

SWR - *Standing Wave Ratio* - Raport de Unde Staționare (RUS);

TCXO - *Thermic Compensated X-tal Oscillator* - oscilator cu cristal de cuarț compensat termic;

Telemetrie – semnale radio, de la satelit, transportând informații despre performanțele sau starea subsistemelor de la bord. Se referă de asemenea la informația în sine;

Transceiver - aparat de emisie și recepție ce folosește, în general, anumite blocuri, în comun atât la emisie cât și la recepție, totul într-o singură carcasă;

Transponder – este un repetor cu o anumită bandă de trecere; o componentă de la bordul satelitului care recepționează semnale radio într-un segment al spectrului (bandă), le amplifică, le translatează în alt segment de spectru și le retransmit spre sol. Acceptă o gamă de frecvențe la intrare și retransmite întreaga gamă la ieșire. Toate diferențele de frecvență din gamă sunt păstrate; poate fi folosit de mai mulți utilizatori, simultan;

Trecerea satelitului – segment al orbitei în timpul căreia satelitul „trece” în zona unei anumite stații de sol;

Uplink – frecvența semnalelor transmise de la stația de sol către satelit. Semnalul transmis către satelit;

USSPACECOM – United States Space Command;

VHF – Very High Frequency – frecvență foarte înaltă (30 MHz - 300 MHz);

UHF – Ultra High Frequency – frecvență ultra înaltă (300 MHz - 3 GHz);

USV - Universitatea Suceava;

VCO - *Voltage Controlled Oscillator* - oscilator controlat prin tensiune;

VNC - *Virtual Network Computing* - este un sistem grafic de partajare a conținutului unui ecran a unui calculator pentru a controla de la distanță un alt calculator;

WebSDR - este un receptor radio definit prin *software* conectat la *Internet*, permițând mai multor ascultători să se acorde și să asculte simultan frecvențe diferite;

WFM - *Wideband Frequency Modulation* - modulație de frecvență cu bandă largă;

Atunci când se vorbește de banda de ... MHz, se înțeleg următoarele game de frecvență:

Tabelul 1 Lista unor benzi de frecvențe folosite în comunicațiile satelitare

Banda	Cuprinsă între	Descriere
137	137 și 138 MHz	Sateliți meteorologici
146	145,8 MHz și 146 MHz	Banda de sateliți de amatori de 2 m
436	435 și 438 MHz	Banda de sateliți de amatori de 70 cm
2400	2400 și 2410 MHz	Banda de sateliți de amatori de 13 cm
10500	10450 și 10500 MHz	Banda de sateliți de amatori de 3 cm

Bibliografie

- [1] „Satellite terminology”, herrons.com, 2017, [Online]. Disponibil: <https://herrons.com/2008/08/17/terminology/> (accesat 13 martie 2017)
- [2] „The Satellite Glossary of Terms”, amsat-ul.org, 2017, [Online]. Disponibil: <https://amsat-uk.org/faq/the-satellite-glossary-of-terms/> (accesat 13 martie 2017)
- [3] Baza de date întreținută de Michael Swartwout de la Universitatea Saint Luis, 2017, [Online]. Disponibil: <https://sites.google.com/a/slu.edu/swartwout/> (accesat 3 iunie 2019)
- [4] AWS Ground Station, [Online]. Disponibil: <https://aws.amazon.com/ground-station/> (accesat 20 aprilie 2019)
- [5] C.-E. Lesanu and A. Done, "Parasitic circular polarized vertical antennas," *2016 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, Suceava, 2016, pp. 143-149. doi: 10.1109/DAAS.2016.7492564
- [6] A. Done, A. Căilean, C. Leșanu, M. Dimian and A. Graur, "Design and implementation of a satellite communication ground station," *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, Iasi, 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/ISSCS.2017.8034925.
- [7] Eshail-2 satellite, amsat-ul.org, 2017. Disponibil <https://amsat-uk.org/satellites/geosynchronous/eshail-2/> (Accesat 20 iulie 2017)
- [8] J. Li, G. Ye, J. Zhang, T. Zhang and L. Ke, "A routing algorithm satisfied ground station distribution constraint for satellite constellation network," *2015 Science and Information Conference (SAI)*, London, 2015, pp. 997-1002. doi: 10.1109/SAI.2015.7237264.
- [9] F. Riffel and R. Gould, "Satellite ground station virtualization: Secure sharing of ground stations using software defined networking," *2016 Annual IEEE Systems Conference (SysCon)*, Orlando, FL, 2016, pp. 1-8. doi: 10.1109/SYSCON.2016.7490612.
- [10] C. Wang and X. Yu, "Application of Virtualization and Software Defined Network in Satellite Network," *2016 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC)*, Chengdu, 2016, pp. 489-493. doi: 10.1109/CyberC.2016.99
- [11] B. Yang, Y. Wu, X. Chu and G. Song, "Seamless Handover in Software-Defined Satellite Networking," in *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 9, pp. 1768-1771, Sept. 2016. doi: 10.1109/LCOMM.2016.2585482.
- [12] <http://www.websdr.org/>
- [13] <http://sdr.hu/openwebxr>
- [14] A. Done, C. Lesanu, A. Căilean, A. Graur and M. Dimian, "Implementation of an on-line remote control ground station for LEO satellites," *2017 21st International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, Sinaia, 2017, pp. 855-859. doi: 10.1109/ICSTCC.2017.8107144
- [15] „MMANA-GAL basic", gal-ana.de, 2017. [Online]. Disponibil: <http://gal-ana.de/basicmm/en/> (accesat: 24- noiembrie- 2017)
- [16] Juan Antonio Fernandez Montana EA4CYQ, "Circular polarization", *Union de Radioaficionados Espanoles (URE)*, July 2006
- [17] H. Brueckmann, "Antenna pattern measurement by satellite," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 11, no. 2, pp. 143-147, March 1963. doi: 10.1109/TAP.1963.1137998
- [18] A. Done, C. Lesanu, A.-M. Căilean, A. Graur and M. Dimian, "Implementation of an on-line remote control ground station for LEO satellites," *2017 21st International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, Sinaia, 2017, pp. 855-859. doi: 10.1109/ICSTCC.2017.8107144
- [19] Orbitron, [stoff.pl](http://www.stoff.pl), 2017, [Online]. Disponibil: <http://www.stoff.pl/> (accesat 5 decembrie 2017)
- [20] "FUNcube Dashboard", funcube.org, 2017, [Online]. Disponibil: <https://funcube.org.uk/working-documents/funcube-telemetry-dashboard/> (accesat 11 iulie 2018)
- [21] J. M. Fernández, J. L. Masa-Campos, M. Sierra-Pérez, "Circularly polarized omnidirectional millimeter wave monopole with parasitic strip elements", *Microwave and Optical Technology Letters*, Wiley Online Library, Volume 49, Issue 3, pages 664–668, March 2007., doi: 10.1002/mop.22237
- [22] K. Sakaguchi and N. Hasebe, "A circularly polarized omnidirectional antenna," *1993 Eighth International Conference on Antennas and Propagation*, Edinburgh, UK, 1993, pp. 477-480 vol.1.
- [23] „MMANA-GAL basic", mike-willis.com, 2017. [Online]. Disponibil: http://www.mike-willis.com/Tutorial/free_space.htm (accesat: 14- decembrie - 2017)
- [24] J. Mitola, "Software radios: Survey, critical evaluation and future directions," in *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 8, no. 4, pp. 25-36, April 1993. doi: 10.1109/62.210638
- [25] Florin Crețu, *Radiotehnică Teoretică și Practică* - Vol. II, Editura PIM, 2016, pag.241
- [26] ***, RSP2, SDRplay, 2018, [Online], disponibil <https://www.sdrplay.com/rsp2/> (accesat 11 iulie 2018)
- [27] Florin Crețu, *Radioreceptoare – proiectare și scheme comentate*, Editura Tehnopress, 2007
- [28] PGA103+, minicircuits.com, 2017, [Online]. Disponibil: <https://www.minicircuits.com/pdfs/PGA-103+.pdf> (accesat 15 martie 2017)
- [29] LP2985, ti.com, 2017, [Online]. Disponibil: www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2985-n.pdf (accesat 15 martie 2017)
- [30] „rtl_power", sourceforge.net, 2017, [Online]. Disponibil: <https://sourceforge.net/projects/guifortlpower/?source=directory> (accesat: 14 martie 2017)
- [31] „rtl_power", kmkeen.com, 2017, [Online]. Disponibil: <http://kmkeen.com/rtl-power/> (accesat: 14 martie 2017)
- [32] Ron Mancini, "OP Amp for everyone", Design reference from Texas Instruments, SLOD006B, August 2002
- [33] A. Done, A band pass filter for the 436 MHz band, *Acta Technica Napocensis – Electronics and Telecommunications*, Volume 57, Number 1, 2016
- [34] „HFSS", ansys.com, 2017, [Online]. Disponibil: <http://www.ansys.com/Products/Electronics/ANSYS-HFSS> (accesat: 14- martie- 2017)
- [35] K. Schmidt, W9CF, Notes on the characteristic impedance of coax with a square outer conductor, 2015, [Online]. Disponibil: <http://fermi.la.asu.edu/w9cf/articles/square/square.html> [accesat 3 iunie 2019]
- [36] ***, *Calculator for Skin Effect Depth*, [Online]. Disponibil: <http://chemandy.com/calculators/skin-effect-calculator.htm> [accesat 3 iunie 2019]
- [37] [Online]. Disponibil: https://f1jky.pagesperso-orange.fr/bidouilles/Notch_FM/Notch_FM.htm (access: 3 iunie 2019)
- [38] "Eshail-2", amsat-uk.org, 2018, [Online]. Disponibil: <https://amsat-uk.org/satellites/geosynchronous/eshail-2/> (acces: 17 decembrie 2018)
- [39] "EyasSat", www.cubesatshop.com, [Online]. Disponibil: <https://www.cubesatshop.com/product/eyasat-classroom-satellite/> (acces: 28 februarie 2019)
- [40] "ESAT", www.cubesatshop.com, [Online]. Disponibil: <https://www.cubesatshop.com/product/esat/> (acces: 28 februarie 2019)
- [41] ***, VHF MANAGERS HANDBOOK, Version 7.00 January 20152015, IARU Region 1, CH-6330 CHAM ZG, Switzerland
- [42] A. Done, Photovoltaic Power Supply with supercapacitors, *3rd IAA Conference, Rome, 2015*, IAA-CU-15-03-09
- [43] MSP430G2553, ti.com, 2017, [Online]. Disponibil: www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf (accesat 15 martie 2017)

- [44] TEA1210, datasheetpdf.com, 2017, [online]. Disponibil: <http://www.datasheetpdf.com/PDF/TEA1210/326234/1> (accesat 22 august 2017)
- [45] MC34063A, ti.com, 2017, [online]. Disponibil: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/mc33063a.pdf> (accesat 22 august 2017)
- [46] MinQiang Li, XianHe Huang, Feng Tan, YanHong Fan and Xun Liang, "A novel microcomputer temperature-compensating method for an overtone crystal oscillator," in *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 52, no. 11, pp. 1919-1922, Nov. 2005. doi: 10.1109/TUFFC.2005.1561660.
- [47] James C. Salvia, Micro-oven based temperature compensation systems for MEMS oscillators, *Department of Electrical Engineering. Thesis (Ph. D.)--Stanford University, 2010*
- [48] ***, CubeSat Design Specification, *The CubeSat Program, Cal Poly SLO*, REV 13, 2014
- [49] Elmer N. Bunting, George R. Shelton, Ansel S. Creamer, Properties of Barium-Strontium Titanate Dielectrics, *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, March 1947
- [50] V. V. Kuvshinov, "Ceramic coaxial resonator vco with a Barium Strontium Titanate tuning element," *2014 24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology*, Sevastopol, 2014, pp. 942-943. doi: 10.1109/CRMICO.2014.6959705.
- [51] ***, *Parascan™ tunable integrated capacitor*, STMicroelectronics, datasheet
- [52] **A. Done**, A.-M. Cailean, A. Graur, "Active Frequency Stabilization Method for Sensitive Applications Operating in Variable Temperature Environments," *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol.18, no.1, pp.21-26, 2018, doi:10.4316/AECE.2018.01003
- [53] ADF4001, analog.com, 2018, [online]. Disponibil: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADF4001.pdf> (accesat: 21 septembrie 2018)
- [54] ADF4116, analog.com, 2018, [online]. Disponibil: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADF4116_4117_4118.pdf (accesat: 21 septembrie 2018)
- [55] M. Dimian, Alin-M. Cailean, **A. Done**, S. Vlad, P. Andrei, "Visible light communication sensors with adaptive hysteretic circuits for automotive applications", *Physica B: Condensed Matter*, 2018, ISSN 0921-4526, doi: 10.1016/j.physb.2017.09.045. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921452617306294>)