



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И
КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ



Красимир Живков Терзиев

**СЪВРЕМЕННИТЕ САТЕЛИТНИ КОМУНИКАЦИОННИ
СИСТЕМИ И ИНОВАТИВНИ МЕТОДИ ЗА ПОВИШАВАНЕТО
НА ЕФЕКТИВНОСТТА ИМ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователната и научната степен „доктор“

по докторска програма Комуникационни мрежи и системи

професионално направление 5.3. Компютърна и комуникационна техника

Научен ръководител: проф. д-р Димитър Карастоянов

София, 2024 г.

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на разширено заседание на секция „Компютърни системи и услуги“ на ИИКТ-БАН, състояло се на 05.12. 2023 г.

Дисертацията съдържа 171 стр, включващи 34 фигури, 5 графики, 3 диаграми, таблици, приложения и литература, съдържаща 100 заглавия.

Защитата на дисертацията ще се състои на2024 г. от часа в зала на блок 2 на ИИКТ-БАН на открито заседание на научно жури в състав:

1. Проф.
2. Проф.
3. Проф.
4. Проф.
5. Доц.

Резервни членове:

6. Проф.
7. Доц.

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2.

Автор: *Красимир Живков Терзиев*

Заглавие: ***Съвременни сателитни комуникационни системи и иновативни методи за повишаването на ефективността им***

Цел и задачи

Цел на дисертационната работа:

Проектиране на наземна подсистема за спътникови комуникации за ниско орбитни сателити

Обект на изследването: Наземната част на система за спътникова комуникация

Решаваните задачи и тяхната последователност в дисертационната работа са:

1. Аналитичен обзор на развитието на системите за сателитна комуникация
2. Анализ на основните технологични компоненти на системите за спътникова комуникация
3. Проектиране на технологичната инфраструктура на наземна станция за нискоорбитни сателити
4. Оценка и сравнения на технологични параметри на проектираната наземна станция чрез измервания на нейни параметри

Разработки от дисертационното изследване са практически проверявани в изградена наземна станция за спътникови комуникации.

Публикации на докторанта по темата на дисертацията

1. D. Karastoyanov, K. Terziev and E. Blagoeva, "Use of Satellites for Observation of Objects in Agriculture," 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Maldives, Maldives, 2022, pp 1-5, DOI: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988626, ISBN 166547095-7, Code 185686
2. Терзиев К., Карастоянов Д., СЪВРЕМЕННИ САТЕЛИТНИ КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ. XXIX Международна научно-техническа конференция – АДП 2020, бр. 2, Publishing house of TUSofia Publisher, Department “Automation of Discrete Production Engineering“, 2020, ISSN:2682- 9584, 149-154
3. Красимир Терзиев, Димитър Карастоянов, СТРУКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ НА СПЪТНИКОВА КОМУНИКАЦИОННА СИСТЕМА, XXX Международна научно-техническа конференция – АДП 2021, Издателство на ТУ София, брой 3, 2021, ISSN 2682-9584, 181-184
4. Красимир Терзиев, Димитър Карастоянов, ЛЕО СПЪТНИЦИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ В СЕЛСКОТО СТОПАНСТВО, XXXI Международна научно-техническа конференция – АДП 2022, Издателство на ТУ София, брой 4, 2022, ISSN 2682-9584, 210-214
5. Krasimir Terziev, Dimitar Karastoyanov. The Impact of Innovation in the Satellite Industry on the Telecommunications Services Market., Problems of engineering cybernetics and robotics, print ISSN: 2738-7356, ONLINE ISSN: 2738-7364, 2020, Vol. 73, pp 30-38
6. - К. Терзиев., Иновативни методи за повишаването на ефективността на съвременните сателитни комуникационни системи., ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS’ 21 RAM 2021, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2021, ISSN:1314-4634, 108-111
7. К. Терзиев., Комерсиални спътникови телекомуникационни системи. ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS’ 20 RAM 2020, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2020, ISSN:1314-4634, 30-33

Увод

Спътниковите системи са технологично средство за предаване на данни, което покрива големи разстояния. Това определя и тяхното приложение и разпространение, където условията за комуникации и достъп до ИТ инфраструктура са силно ограничени. Спътниковите комуникации могат да се реализират с различни комбинации на телекомуникационни модули, системи и подсистеми. Съответно технологичните решения водят до различни свойства, изисквания и параметри на услугите за комуникация и предаване на данни. Видът на това оборудване и устройства, като елемент на спътниковите системи за комуникация, изисква различни технологични решения, които да отговарят стандартите и да осигурят надеждна сателитна свързаност. Като технологичен проблем е изборът на съвместими и удачни технологични модули, които в съвкупност да предоставят комуникационни услуги със съответна скорост на предаване, намаляване затихването на сигналите и сигурен достъп на този вид комуникации за крайните потребители.

Настоящата дисертационна работа си поставя цел проектиране на наземната част от система за сателитна комуникация. Тя е предвидена за пренос на данни към спътникови системи и съзвездия на ниска наземна орбита, която е предпочитана от сателитните оператори и ползватели, тъй като осигурява по-малко закъснение между заявката и изпълнението на комуникацията.

Глава 1: Аналитичен обзор на спътниковите телекомуникационни системи

1.1 Исторически обзор на сателитната индустрия

Историческите факти дават сведения, че пионер на сателитната технология е двадесет и седем годишния военно-въздушен офицер и учен на име Артур Кларк, който по време на тренировъчен лагер описва първоначалната концепция. Момчето написва статия „Extra terrestrial relays”, която пресъздава идеята за комуникационните спътници, като текстът се публикува в Британското издание „Wireless World”. Той описва, че изкуствен спътник на точна дистанция от земята, би останал насочен към същата точка в продължение на 24 часа и с оптичен радиус от около половината от земната повърхност. Според неговата теория ще бъдат необходими три наземни станции, които да покрият 360 градуса и да осигурят глобална комуникационна свързаност. Точната дистанция, която е определена от екватора, при която сателитът ще се движи с еднаква скорост като земята, е 35 786 км и е наименувана на създателя ѝ – орбитата на Кларк. По този начин всички антени на земята ще бъдат насочени фиксирано към една позиция и няма да е нужно да се насочват и настройват периодично, за да предават или приемат данни. Системата, описана от Артур Кларк всъщност се счита от учените като повратна точка в сателитната индустрия, която поставя основата на комерсиализацията на спътниковите комуникационни услуги. Той е наречен също баща на индустрията.

1.2 Приложение на сателитна индустрия за комерсиални цели

През 1962 година, администрацията на президента Джон Кенеди предлага създаването на разработването на глобална комуникационна сателитна система, чийто документ се подписва от него на 31 Август същата година. Създава се новата частна компания „COMSAT”, която ще има за цел да осъществява партньорства с други страни относно изграждането на глобална комерсиална сателитна мрежа. На 20 Август 1964 година, във Вашингтон се създава първата международна сателитна комуникационна организация, наречена „Intelsat. Ето че и идва времето за създаването и изстрелването на първия комерсиален геостационарен спътник, който се разработва от „Hughes Aircraft”. „Early Bird 1” (по-късно преименуван на „Intelsat 1”) се изстрелва на 6 Април 1965 година. Капацитетът му е бил за провеждане на 240 едновременни разговора и излъчване само на един черно-бял телевизионен канал. Сателитът покрива региона около Атлантическия океан, като е осигурявал комуникационна връзка между Северна Америка и Западна Европа. „Early Bird 1” е бил планиран да има живот от 18 месеца, но се е задържал в орбита 3 години и половина. В края на 60-те години, „Intelsat” осигурява вече глобално покритие, след като вече функционира „Intelsat 3”. Началото на 80-те години, основните компании, които оперират спътници с глобално покритие са били тези на „Intelsat” и „Intersputnik”. „Intelsat” и техните над 100 държави членки са предавали през мрежата си две-трети от световния комуникационен трафик и почти целия телевизионен пренос на медийно съдържание. Един от пионерите на сателитната дистрибуция на кабелна програма е бил Сидни Топол, който е бил част от малка

компания на име „Scientific Atlanta“. Той разработва 10 метрова антена, която е била използвана от кабелните оператори за приемане на сигнал от сателитните платформи. Сателитното излъчване на снимки от първото стъпване на луната през 1969, както и летните олимпийски игри в Мюнхен, Германия през 1972 до милиони хора, доказват на света силата и влиянието на технологията.

1.3 Интегрирано кабелно и сателитното предаване на данни

По това време в Европа има още един визионер и предприемач, който вижда силата на сателитните технологии и по-късно ще изгради такава телекомуникационна мрежа. Името му е Рупърт Мърдок. Мърдок е роден през 1931 година в Мелбърн, Австралия. Той е син на успешния вестникарски издател Сър Кейт, който умира неочаквано, когато Мърдок е едва на 21 години и следва в университета в Оксфорд. Той наследява от баща си два австралийски вестника „The Adelaide News“ и „The Brisbane Courier Mail“, които успява да превърне в два могъщи мултимедийни конгломерата. През 80-те той притежава различни вестници по света като „New York Post“ и популярното в Лондон издание „Times“. През 1985 година Рупърт закупува и „Twenty Century Fox films“ и ТВ студията за 575 милиона щатски долара и шест ТВ канала от „Metromedia“ и поставя началото на „Fox Networks“. За да избегне американските регулации, които забраняват притежаването на лиценз за медийно разпространение, той придобива американско гражданство на 4. Септември 1985. DTH услугите в САЩ се появяват благодарение на Стенли Хъбард, който по това време е част от „USSB – US Satellite Broadcasting“, който получава първият лиценз за услугите през 1981 година. В началото приемните антени, които са били предназначение за приемането на сигнала са в честотна лента C. Цената, размерите и ограничените възможности ограничават за съжаление услугата само до хора, които са се занимавали с дейността като хоби. Тези недостатъци не са позволявали масовото и комерсиалното навлизане на услугата, което ограничава и постъпленията от приходи. Към края на 2000 година, сателитната индустрия и бизнесът претърпява сериозни промени. На 9-ти Април 2003, „Murdoch’s News Corp“ и „General Motors“ се споразумяват за сумата от 6.6 милиарда долара за 34% дял в „Hughes Electronics“, включвайки и „DirecTV“ и 80% от акциите на „PanAmSat и Murdoch’s News Corp.“ е най-могъщата медийна империя по това време.

1.4 Конкуренция и пазарни приложения

Следвайки своята пазарна логика, сателитната индустрия започва стремглаво развитие, предвид възможностите, които се откриват, както и облекчените регулации, които се случват благодарение на „PanAmSat“. Навлизането на компанията на пазара, дава възможност да се разруши монопола на „Intelsat“ и да създаде предпоставки за по-голям интерес от страна на инвеститорите, както и за по-високи нива на конкуренция. Началото на новата вълна от спътници поставя компанията „Orion Network Systems“, начело на която застава Джон Пуенте – един от водещите инженери е „Comsat

Laboratories“. Средата на 90-те година, сателитните оператори активно се изправят срещу монопола на „Intelsat“ и настояват за неговата приватизация, която да доведе до равнопоставеност и свободната пазарна надпревара между участниците. През 1995 година започват преговори за приватизацията на дружеството. На 10 Февруари 1997 година „Intelsat 2000 Working Party“ – комитет, издава доклад относно реструктуриране на „Intelsat“ с цел участието си на пазара без дискриминиращи фактори.

През 90-те години се наблюдава сериозен бум на Интернет технологиите и всички телекомуникационни услуги, което води до още по-сериозния интерес на инвеститори в тази пазарна ниша. Прогнозите и маркетинговите проучвания доказват още веднъж, че се очаква сериозен ръст на сателитните услуги. Точно по това време започват и ново агресивни стратегии със създаването на нови и с много повече технологични възможности сателитни мрежи.

През Март, 2000 година, Конгресът в САЩ приема „Open-Market reorganization for betterment of International Telecommunications“ (Orbital Act) - документ, който има за цел да предостави още по-голяма свобода и конкурентно способност на участниците в пазара. Тази директива гласи и изискването за приватизация на „Intelsat“, както и налага някои задължения на дружеството. На 17 Ноември 2000 година, на общо събрание на „Intelsat“, заедно с 144 участници от различни правителства приемат с анонимно гласуване план за приватизация на „Intelsat“. След цели 37 години като държавна компания, Intelsat официално става частна компания на 18 Юли, 2001 година. В първата година от новото хилядолетие, сателитната индустрия бележи своя зенит, въпреки турбулентното навлизане на Интернет технологиите и Телеком услугите. Асоциацията на сателитната индустрия публикува доклад с данни за общ оборот от 80 милиарда долара. Средният ръст на годишна база е 15%, което е обещаващо за нови инвестиции и наличие на стабилна сфера. Началото, което положи преди 37 години „Intelsat“, сега се превръща в могъща световна сателитна индустрия.

1.5 Развитие на спътниковите технологии и навлизане на мрежи на ниска наземна орбита

Сателитите на ниска наземна орбита (LEO орбита) стават все по-популярни през последните години, благодарение на способността им да предоставят високоскоростен интернет и други комуникационни услуги на потребителите на земята със значително по-добри параметри от съществуващата технология на геостационарна наземна орбита. Въпреки това, един от основните проблеми е, че съществуващият брой наземни станции не могат да приемат и обработят ефективно трафика от тях, поради липсата на достатъчен брой такива, които да работят в конкретен честотен спектър и които да покриват изискванията на новите спътникови съзвездия. Наземните станции са от съществено значение за приемане на сигналите, от спътниците и предаването им до подходящата дестинация. Те действат като портал между сателита и крайния потребител, като гарантират, че данните от сателита, се получават и обработват правилно. Освен това недостигът на наземни станции може да ограничи потенциала на LEO сателитите да предоставят нови услуги и възможности, включително дистанционно наблюдение, наблюдение на земята и мониторинг на околната среда. За да се реши този проблем, има

нужда от разширяване на телеком инфраструктурата, особено в райони с висока гъстота на населението. Използването на повече антенни системи ни позволява да управляваме по-ефикасно нарастващия сателитен капацитет, както и прецизното му регионално разпределение по хъбове, за да не се натоваря мрежата и да се осигури свободен капацитет. Те могат да бъдат стратегически разположени в райони, които имат по-голямо търсене, увеличавайки общото покритие на сателитната мрежа. Един от критичните елементи за сателитните оператори е разпределянето на трафика по спътникови платформи, както и Телепорт станциите, което изисква постоянно оптимизиране на този процес от собствениците на спътникови съвездия. Това може да се постигне чрез използването на усъвършенствани комуникационни технологии и инструменти за анализ на данни и мониторинг на трафик, които могат да помогнат за оптимизиране на маршрутизирането на трафика между различни станции, като се гарантира, че наличният капацитет се използва в пълния си потенциал. Нарастващият брой Телепорт антени изисква и подобрене на комуникационна инфраструктура чрез разширение на наличните наземни капацитети за пренос на данни, която да управлява големите обеми от данни.

1.6 Заключение

Направен исторически и технологичен анализ на развитието на технологиите, прилагани за реализиране на услуги чрез спътникови комуникации. Обосновано е, че частта на наземната инфраструктура на спътникова комуникационна система е съществен компонент за функционирането на комуникациите, управлението на клиентския трафик и осигуряването на надеждна свързаност. Това обосновава необходимостта от разработването на технологични решения за наземните подсистеми на LEO комуникационни сателити. Чрез инвестиране в инфраструктура и модерни технологии можем да подобрим капацитета и ефективността на спътниковите мрежи, като гарантираме, че потребителите имат достъп до високоскоростен интернет, пренос на данни и глас, както и други комуникационни услуги. Въвеждането на иновационни методи и проектирането на продукти, които биха се справили по-ефективно с преноса на данни, би осигурило предпоставки за справянето с увеличаващия се брой сателити. Основната работна задача на този дисертационен труд е да проектира, разработи проект за инсталация и конфигурация на сателитна наземна антена, оперираща със спътници на ниска наземна орбита, както и да се предложат иновативни методи за приемане, изпращане, обработване и достъп до спътниковите данни от потребителите, опериращи със съвездията и платформата. С внедряването на този сателитен терминал ще се докаже оптимизирането на подобни системи за работа със сателити на ниска наземна орбита, като по този начин ще се осигурят предпоставки за изграждането на технологична наземна инфраструктура, която да покрие нарастващия обем от Интернет трафик. Също така ще се приложи и подход за количествена оценка и ефективността на системата, като се анализират данните, които се обработват от системата и се съпоставят качествено със съществуващите системи.

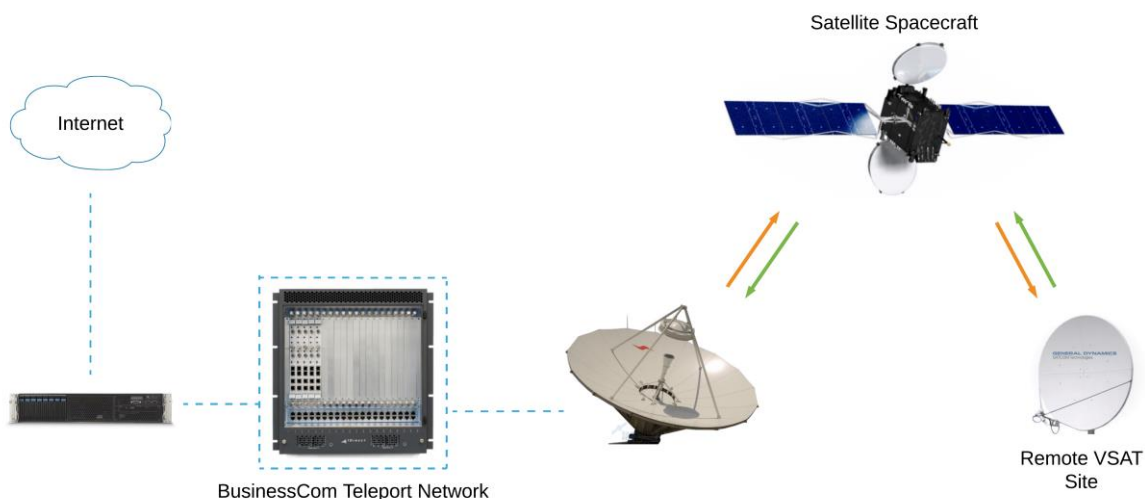
Глава 2. Проблеми при проектиране и функциониране на системи за спътникова комуникация.

2.1 Основни компоненти и характеристики на спътниковата връзка

Сателитните връзки и пренос на данни заемат важна роля в глобалната телеком индустрия. Те са част от световната телекомуникационна мрежа. Тяхното съществено предимството е, че осигуряват комуникация до най-отдалечени и недостъпни места без налична кабелна инфраструктура. Необходима е инсталацията на една сателитна приемно-предавателна антена, както и модем, чрез който да се осъществи комуникация със спътник и по този начин да се обезпечи и осигури достъп до Интернет. Изкуствените спътници се намират в космоса на определена орбитална позиция и поради тази причина не са засегнати от природни бедствия на земната повърхност, като земетресения, наводнения, пожари и други. В допълнение, освен конвенционалната свързаност за наземни комуникационни услуги, чрез сателитните съзвездия се предоставя и Интернет достъп до обекти в морета и океани, където е невъзможност да се осигури достъп през стандартна кабелна мрежа. Използвайки тази технология, могат едновременно да се покрият хиляди обекти от космоса, чрез използването на само един спътников лъч от космоса. Спътниковите комуникации се използват за пренос на всякакъв тип услуги като данни, гласови услуги, видео и мултимедийно съдържание. Тяхната гъвкавост позволява и изграждането на различни типове преносна среда и топология на мрежите, като се внедряват и различни методи за криптиране на данните с цел по-висока сигурност, както и възможност за изграждане на виртуални частни мрежи.

Ролята им е ключова за осигуряването на непрекъсваема свързаност и преносът на масиви от данни от и до недостъпни точки, за да се осигури глобално телекомуникационно покритие. В допълнение освен Интернет трафика и преноса на данни, те осигуряват възможност за достъп до медийно и телевизионно съдържание на домакинства, които са в отдалечени и недостъпни райони, в които няма изградени кабелни трасета и мрежи. Бързото изграждане на мрежата, широките зони на покритие чрез една сателитна платформа и надеждната и високоскоростна връзка със спътника, ги прави една от най-бързо развиващите се индустрии в 21 век.

По-долу описвам основните компоненти на една спътникова комуникационна връзка (Фигура 1).



Фигура 1. Основни компоненти на спътниковата комуникация, [BusinessCom Networks]

Спътниковата комуникация включва два основни сегмента – космически и наземен сегмент. По-долу описвам тези две направления, както и отделните субелементи, за да се изгради сателитна комуникация.

2.1.1. Наземен сегмент

Един от съществени компоненти за осъществяване на пренос на данни чрез спътникова платформа е наземният сегмент или наземната станция. Ние го срещаме по-често като Gateway или Телепорт. Той се състои от система от антени, ведно с широк спектър от хардуер, инсталиран най-често в дата център в близост, които приемат и предават данните до сателитите в конкретна честота и модулационни схеми и по този начин изграждат комуникация в конкретна честотна лента и модулационна схема. Оборудването, което най-често се инсталира са различни типове приемници, модулатори, демодулатори, модеми, конвертори, усилватели, матрици, суитчове, хъбове и други. Сателитите оператори използват TTC (telemetry, tracking and control) антени – тя следи орбиталната позиция, както и други критични параметри на сателита в реално време, за да се гарантира сигурна услуга за потребителите. Чрез тази система се осъществява телеметрия и дистанционен мониторинг и контрол.

Крайните клиентски антени могат да се разделят в три основни категории – фиксирани (stationary), мобилни (on-the-move) и преносими (flyaway), като те се използват според конкретното приложение. Те се характеризират с честотен спектър, размер и тип на рефлектора, поляризация, автоматичен или ръчен тракинг, вид орбита и други. Колкото по-голям е диаметра на рефлектора, както и изходящата мощност на усилвателя, толкова по-ефективна система имаме и съответно по-добра комуникация със спътника. Изборът на отделните елементи често се детерминира от спътниковия оператор, който изготвя калкулация на връзката (Link Budget), който дава указание и препоръки за минималните изисквания за антената.

Изграждането на наземния сегмент изисква правилен подбор на отделните компоненти, които функционират заедно, за да осигурят качествена комуникация и пренос на данни

(Фигура 2, 3). Основните елементи, които са част от една антенна система за краен потребител са следните:

- Рефлектор на антенна система - това е част от антената, която отразява получените радио-електромагнитни лъчи и ги подава към облъчвателя. Използването на по-голям диаметър позволява изграждане на по-ефективна спътникова връзка. Материалът, от който е произведен рефлектора е ключов и затова често се използват въглеродни влакна (carbon fiber), стъклени влакна (glass fiber) и алуминий.
- Комплект облъчвател (RF feed) – той включва облъчвателя, трансдюсер (Orthomode Transducer) и най-често към него се монтират и конверторите и усилвателите. Той може да оперира в линейна или кръгова поляризация, според сателитния лъч.
- Усилвател/Конвертор (Block Up Converter) – усилвателите се експлоатират в Телепорт станцията, като част от предавателните антени или се интегрират в крайния клиентски терминал. Функцията им е да приемат сигнала от дата центъра (най-често от модулатора или модема), да го конвертират от честотен спектър IF или L към по-висок, който съответства на спътниковата система – най-често C, Ku, Ka, X. След което усилва сигнала, за да изпрати получената информация към сателит. За предпочитане е да се използват по-високи изходящи мощности, за да се използва по-ефективно наличния капацитет.
- Ниско-шумов усилвател – Low Noise block convertor (LNB) – този компонент приема сигнала от спътника, след което го усилва, за да се обработи от крайното устройство. Също така конвертира от по-висока честота (C, Ku, Ka, X) към по-ниска IF или. Има два основни типове ниско-шумови усилватели – “Phased Lock Loop”, “Dielectric Resonator Oscillator”. Phased Lock Loop усилватели могат да бъдат с външна или вътрешна референция – “external” и „internal reference”.
- Вълновод (Waveguide) Това е частта от антената, която транспортира електромагнитната вълна от облъчвателя до LNB.
- Отопление на антената – Използва се на места, на които температурите падат под нулата и е възможно замръзването на рефлектора и дефектиране на антената, което води до загуба на връзка със спътника или интерференция на сигнала. Използват се различни типове отопления, като най-често то се прикрепя в задната част на антената, но има контролери, чрез които се задават параметрите на работа на системата.
- Стойка за монтаж – при крайните клиентски терминали имаме най-често стойки за монтаж с или без пробиване на основата, така наречените “Non-penetrating roof mounts” и „Penetrating roof mounts”. В зависимост от терена, на който се извършва дейността, се препоръчва и различен тип продукт.



Фигура 2. Приемна антена, [личен архив Красимир Терзиев]



Фигура 3. Елементи на антената, [личен архив Красимир Терзиев]

Както вече споменах, освен антенната система, за изграждането на спътниковите комуникации, имаме и различен вид допълнително оборудване, което се използва в дата център или на мястото на експлоатирането на услугата, за да се осъществи връзка с платформата в космоса. Описвам част от основните компоненти:

космоса. Описвам част от основните компоненти:

- Модем – това устройство извършва модулация и демодулация - конвертира дигиталният сигнал, изпратен от компютъра в аналогов (модулация) и обратно аналогов в дигитален сигнал (демодулация). Модемите обработват пакети от данни, както и се характеризират с максимален обем обрботени данни (bytes), които се изпращам за орпеделено време (секунди). Съвременните модеми предлагат скорости, изразени в Mbps – megabit per second. Понеже модемите

извършват модулация и демодулация, те са предназначени за двупосочен обмен на данни – приемане и предаване.

- Модулатор – модулаторът е устройство, което наслагва ниско-честотна върху високо-честотна информация или сигнал за целите на безжично предаване на данни. Модулацията е необходима, защото тя е част от процеса по изграждане на спътниковата комуникация. Сигналите могат да бъдат дигитални или аналогови. Основните типове са обособени в три основни направления – амплитудна , честотна и фазова.

Амплитудна – amplitude modulation (AM), аналогова и amplitude shift keying (ASK), дигитална.

Честотна – frequency modulation (FM) – аналогова и frequency shift keying (FSK), дигитална.

Фазова – phase modulation (PM), аналогова и phase shift keying (PSK), дигитална

- Демодулатор – той има точно обратната функция на модулатора. Задачата му е да демодулира AM, FM, PM модулирани сигнали и да ги декодира и преобразува в аудио, видео изход. Също така можем да формулираме този процес, че е извличането на оригиналните данни от спътника и разделянето на полезния сигнал от многобройните радио-електромагнитни вълни, за да се приемат от крайното устройство.
- Конвертор – устройството, което преобразува по-ниска радио честота към по-висока такава се нарича степ-ъп конвертор (up-converter). Когато наблюдаваме обратния процес, тоест конвертиране от по-висока честота към по-ниска, тогава използваме степ-даун конвертор (down-converter). Спътниковите комуникации се характеризират с висока честота и поради тази причина е необходимо използване на това оборудване, за да се изпратят данните в конкретната честота, в която оперира сателитната платформа.
- IP мрежови суич – IP суичовете се използват да предадат информацията до мрежата, от устройствата, свързани към тях, чрез физически най-често Ethernet портове (различен брой – от 4 до 96). Чрез тях се осъществява сигурна и надеждна жична комуникация между устройствата, вместо wi-fi безжична свързаност. Те се използват най-често на места, където има нужда от поддръжка на голям брой крайни устройства, като най-често те обработват Layer 2 или Layer 3 протоколи.
- Рутер – Нарича се още маршрутизатор. Ролята му е ключова в комуникационните мрежи, защото той рутира или разпределя пакетите, които пристигат от различни мрежи, използвайки логика, която е предварително конфигурирана в IP адреси/таблици. Без него, IP мрежите и комуникациите няма как да функционират в синхрон.
- Хъб – това е оборудване, което се инсталира и интегрира с телекомуникационна инфраструктура на Телепорт станциите, за да обезпечи едновременно комуникация с няколко спътника и предоставя възможността за свързване на многобройни крайни терминали и устройства, с цел пренос на данни или достъп до Интернет. Хъбовете се характеризират с поддръжка на големи спътникови капацитети и съответно бърза обработка на голям обем от информация. Те

спестят и ресурси при изграждането на телекомуникационна инфраструктура и мрежа, защото хардуерът вече е предварително инсталиран и конфигуриран и услугата се предоставя лесно и бързо.

- Матрица - това е продукт, чрез който се извърша дистанционен контрол, мониторинг и управление на приеманите (downlink) и изпращаните (uplink) сигнали от и към спътника. Телепорт станциите, сателитните оператори, медийните компании и други организации в индустрията използват матрици, за да обработват трафика, според нуждите им.

2.1.2 Космически сегмент

Той включва изкуствения спътник, наречен още сателит. Думата идва от английски Artificial Satellite – изкуствен спътник, който се извежда в орбита, за нуждите на телекомуникационните услуги. Функцията му е да приема сигнали от земята и да изпрати/отрази същите към друга предварително зададена точка или локация, която е част от покритието на лъча.

Към днешна дата над 11,000 изкуствени спътника са в околоземна орбита и се използват за различни цели и приложения. Размерите им са много различни, като варират от така наречените „Cube“ сателити – чиито размери са малко над 4 инча и те могат да се хванат с една ръка, до такива с тежест 10 тона и 34 метра дължина. Спътниците се изстрелват от специална за целта ракета, в която сателитът се сгъва и постепенно се разгръща, при достигането на определена височина в космоса. Част от ракетата пък изгаря в атмосферата.

Два са основните елементи на сателитите:

1. „Bus“ – представлява модулarna структура, която същност оформя основата на спътника и която поддържа главните системи и подсистеми за нормалната оперативна работа.
2. „Payload“ - включва комуникационната част на спътника – транспондерите, комуникационни антени – приемни и предавателни.

Части на „Bus“ сегмент

- Структурна подсистема (Structural Subsystem) - Това осигурява механичната опора за целия сателит, включително полезния товар и други подсистеми. Той е проектиран да издържи на напрежението при изстрелването и суровите условия в космоса.
- Подсистема за захранване (Power subsystem) – тя генерира, съхранява и разпределя електрическа енергия към различните системи на сателита. Основният източник на енергия, използван от електронно работещото оборудване в космоса, са соларните клетки. Въпреки това, батериите също са включени в такива системи, които предлагат захранване в режим на готовност в случай на липса на слънчева енергия. Тук трябва да се отбележи, че мощността, генерирана от единична соларна клетка, е доста малка от тази, която действително се изисква от оборудването, така че вместо да се използва една, се използват масиви от клетки,

в последователна и паралелна конфигурация за постигане на желаното ниво на мощност.

- Подсистема за контрол и определяне на позицията (Attitude Control and Determination Subsystem) - тази система поддържа ориентацията и позицията на сателита в пространството, като гарантира, че антените, сензорите и слънчевите панели са правилно насочени. Обикновено се състои от сензори за измерване на отношението и позицията на сателита и задвижващи механизми, като тласкащи устройства или реактивни колела, за извършване на корекции, ако е необходимо. Контролът на сателита съответства на контролирането на ориентацията му, докато обикаля около Земята. Това е решаваща част от проектирането и поддръжката на сателитната система, тъй като това позволява на сателитната антена да се насочи точно към конкретния регион на земята.

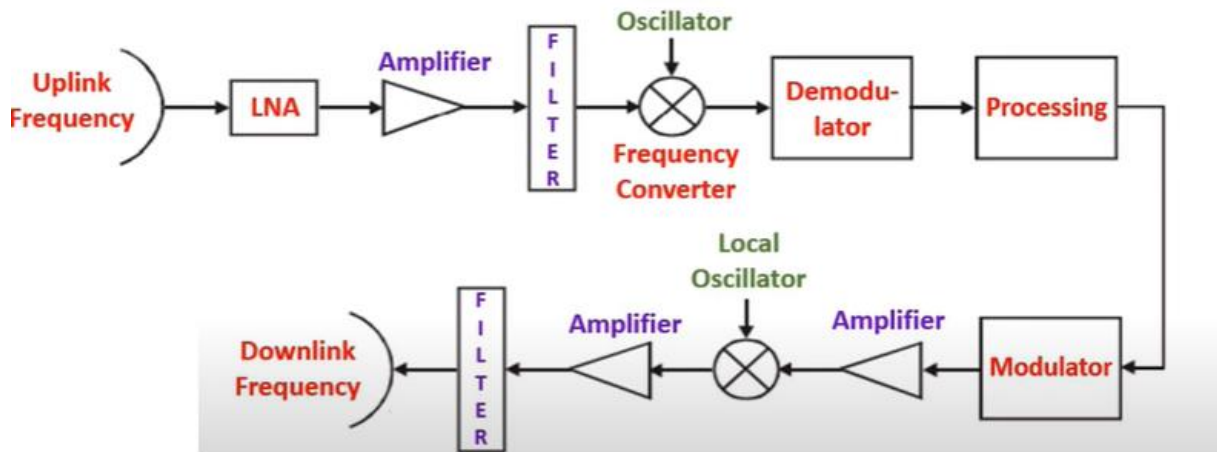
По време на този процес се установява ориентацията на спътника в пространството и след това трябва да се активира правилното контролиращо действие в случай на грешка. По принцип позицията на спътниците се променя във времето, поради което изисква наблюдение и периодична корекция. Спътниковите платформи също така трябва да заемат определена орбитална позиция, за да се спазват изискванията на международния телекомуникационен съюз (International Telecommunication Union) и да не пречат на съседните платформи в космоса.

- Подсистема за термичен контрол (Thermal Control Subsystem) - Сателитите, обикалящи около земята, биват засегнати от големи температурни колебания и има различни причини за това. Температурата на спътника варира поради слънчевите лъчения и тези идващи от земята. Освен тях, сателитната система също генерира топлина и всички тези фактори повишават температурата и за правилна работа тя трябва да се поддържа в граници. За да се постигне това, един от важните фактори е оборудването да работи в подходяща атмосфера. Тази система регулира температурата на сателита, за да защити чувствителната електроника и други компоненти от екстремни температурни колебания. Обикновено използва пасивни техники, като изолация, и активни техники, като нагреватели и радиатори, за поддържане на стабилна среда.
- Подсистема за задвижване (Propulsion Subsystem) - Това дава възможност за промяна на орбитата на спътника или запазване на неговата позиция. В зависимост от изискванията на мисията, задвижването може да включва химически, електрически или други технологии за задвижване.
- Комуникационна подсистема (Communication Subsystem) - Това позволява комуникация между сателитните и наземните станции, улеснявайки предаването на команди, телеметрия и данни за полезен товар. Комуникационната подсистема обикновено се състои от антени, предаватели и приемници. Системата произвежда електрически сигнали пропорционално на количеството, необходимо за измерване, кодира ги и предава до желаната наземна станция. Функцията за телеметрия е свързана с измерване на разстояние. Телеметричните сигнали се

състоят от информация за околната среда, сателитна информация, заедно със електрозахранването и налягането на съхраненото гориво.

Части на Payload сегмент

- Транспондер – това е частта от сателита, който изпълнява функцията за приемане и предаване на данни (Фигура 4). Той е най-важната част, чрез която се пренася телекомуникационен сигнал от и към земята. Транспондерът съответства на канал, образуван от последователно свързани единици между предавателна и приемаща антени. Те не представляват отделно оборудване, а комбинация от елементи, образуващи канал за комуникация. Следователно транспондерът е съществена единица за сателитна комуникация. Ширината на честотната лента на транспондера зависи от технологията, използвана за сателита, както и от естеството на сигнала, който се предава. Той е включен както в връзката нагоре (uplink), така и в връзката надолу (downlink).



Фигура 4. Сателитен транспондер и приемане/предаване на данни, [SatNow]

2.2 Основни мрежови топологии и честотни ленти, приложими в сателитните комуникации.

Основните мрежови топологии, които се използват в сателитните комуникации са: Звезда (star), Мрежа (mesh) и единичен канал на носеща честота (single channel per carrier).

- SCPC или „single channel per carrier” е широко използван термин. Сателитният транспондер има определена честотна лента и е разделена на брой носещи честоти, като се има предвид честотната лента на за брой. Например сателитът в обхват „C” с обща честотна лента от 500MHz е разделен между много транспондери с честотна лента от 36MHz. Тя се използва за пренасяне на информация под формата на глас или данни. Тези линии за глас или данни се наричат канал. „SCPC” означава единичен канал на сателитен транспондер. Каналът за глас или данни се модулира през носеща честота и се предава с помощта на наземната антена към сателита и същият модулиран сигнал се

конвертира/усилва и се изпраща надолу към приемащия терминал от другата страна чрез транспондер – тук имаме аналогичен принцип на изпращане, обработване и приемане на информацията като при MCPC (multiple channel per carrier).

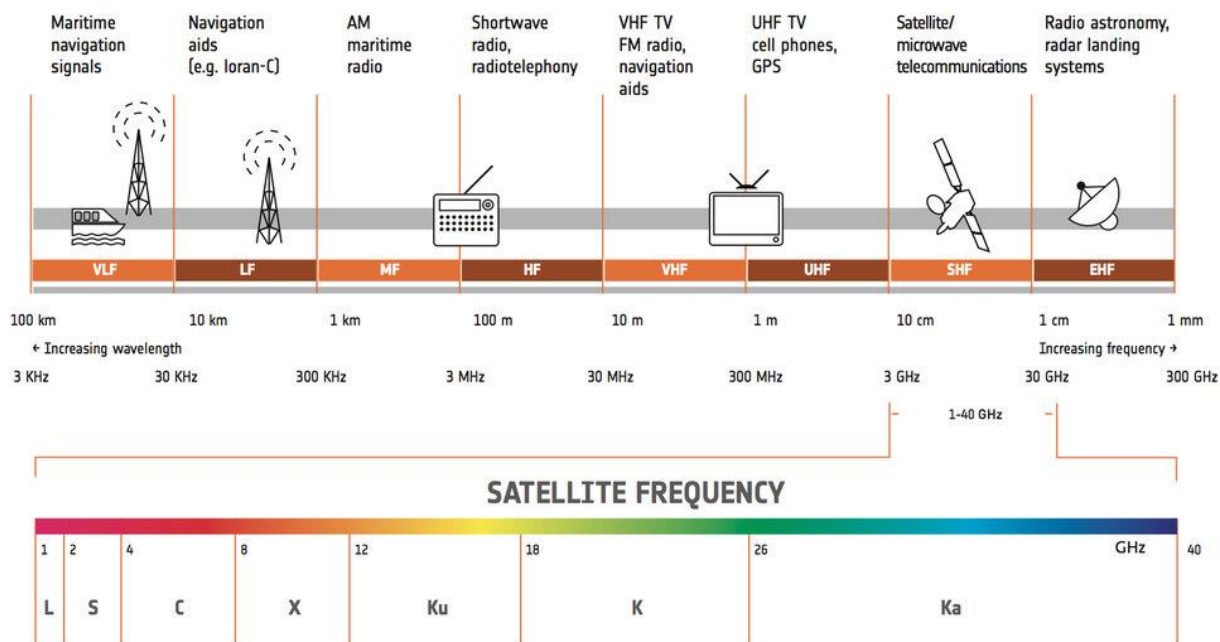
- Звезда (star) - сателитните мрежи със звездна топология осигуряват IP свързаност с наземен хъб в Телепорт станцията на оператора. Чрез използване на мрежово оборудване, което се свързва към VSAT (very small aperture terminal) хъб, който едновременно доставя спътников капацитет до многобройни отдалечени клиентски терминали, които получават достъп до Интернет мрежата.

Една от технологиите, които се използват при мрежи тип „звезда“ е TDMA – „time division multiplexing“, която се използва при изпращане на данни до няколко дестинации. Този начин дава възможност да се използва същата честота, която всъщност разделя сигнала на няколко времеви слота. Терминалите се редуват през много кратки интервали, като използват абсолютно същия заложен и предефиниран слот на транспондера и по този начин се оптимизира използването на спътниковия ресурс и капацитет.

Спътниковите комуникации е необходимо да се спазват определен честотен спектър, алокиран от сателитните оператори. Освен това те трябва да спазват и работят в пълно съответствие международните регулации, които се определят и контролират от Международния телекомуникационен съюз (International Telecommunication Union – ITU), Фигура 5.

Честотният спектър е в основата за създаването и утвърждаването на надеждна комуникационна връзка, като също така определя необходимото оборудване, което трябва да се използва при изпълнението на този процес. Важно е да се отбележи, че честотата представлява съществен параметър, който влияе върху дължината на вълната и, съответно, върху множество аспекти на комуникационната система.

Най-широко използваните честотни ленти са VHF, L, S, C, X, Ku, Ka.



Фигура 5. Радио честотен спектър, [European Space Agency]

2.3 Основните видове услуги, предлагани от спътниковите мрежи. Типове сателитни орбити

- **Фиксирани сателитни услуги (Fixed Satellite Services - FSS)** - Осигуряват комуникации между една или няколко фиксирани наземни локации чрез ретрансляция през един или няколко спътника. Когато имаме пренос през няколко сателита, се осъществява така наречената „inter satellite service“ комуникация. Това решение се отличава с това, че лесно могат да се разделят на няколко носещи, което го прави предпочитан при изграждането на спътникови връзки. Поддържат се телефонни гласови услуги, пренос на данни, факс, видео и телевизионно съдържание, радио и други.
- **Радио и Телевизионно разпръскване (Broadcast Satellite Service - BSS)** – тази технология се използва най-често при излъчването на телевизионни канали и съдържание, например при “Direct to Home” (директно до дома) услугите. Тук е характерно използването на цели транспондери, за да се пренесе мултиплексираното телевизионното съдържание до крайните клиентски антени. Този метод се използва от кабелните оператори предвид ефективността на честотната лента и използването на целия капацитет в транспондерите – 36MHz, 54MHz или 72MHz. Те се делят на два основни типа – многофункционални и

системи за директно спътниково приемане, като те се различават от максималната допустима плътност на потока на мощността (Power Flux Density).

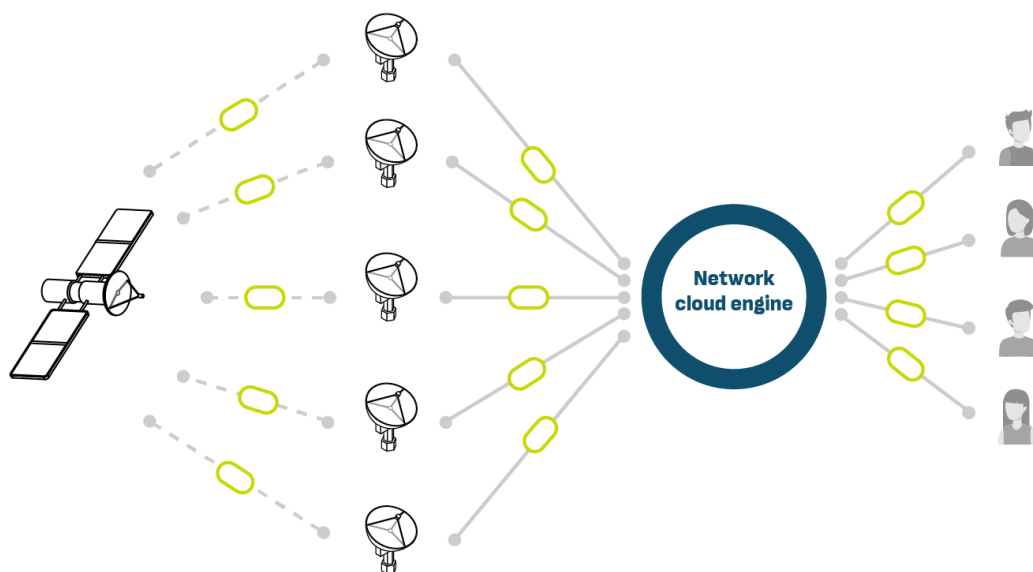
- Директни радио и телевизионни услуги (Direct broadcast system - DBS). Предвид зависимостта от плътността на потока и по-високата им честота от стандартната, те предлагат по-ограничено покритие на земната повърхност. Честотната лента към спътника е 17.3 – 18.1 GHz, а от спътника 11.7 – 12.75GHz. Използва се най-често кръгова поляризация.
- Директно до дома услуги (Direct to home - DTH) – това е най-често използваната услуга за излъчване на телевизионно съдържание до крайни абонати. Предимството е, че оборудването е достъпно и с подходящи размери, което улеснява и експлоатацията от крайните потребители. Тази услуга се предлага от кабелните оператори, които осигуряват комплект от сателитна антена и декодер, чрез който се предоставя голям брой канали.
- MSS – mobile satellite services – мобилни спътникови услуги - осигуряване на сателитна връзка до подвижни обекти, на които най-често се монтират портативни и преносими антени и терминали, които имат автоматичен тракинг, за да проследяват сателита към който са насочени. Индустриите, в които се прилагат са морски, авиационни и наземни като влакове, автобуси и т.н. В зависимост от приложението, крайните терминали се монтират на различни места. При наземна мобилни решения, антената е на превозното средство, при кораби или луксозни яхти в морския сектор, те се инсталират на борда, а в авио индустрията на самолета.
- Радилюбителски връзки – осъществяват се най-често чрез любителски спътници и се изграждат комуникационни връзки с некомерсиална цел.
- Глобална система за позициониране (Global Positioning System – GPS) - мрежа от спътници, разположение на средна назема орбита (около 20 000km от земната повърхност), които служат за определяне на положението, скоростта и времето с точност до 1 наносекунда във всяка точка на земното кълбо и околоземна орбита в реално време. Чрез измерване на точното разстояние от мястото, чиито координати търсим, до група спътници, чиито координати вече са точни и предварително определени.
- Метеорологични услуги – метеорологични сателити като METEOSAT, NOAA за наблюдение и изследването на земята за метеорологични цели.
- Радиоопределящи спътникови услуги (Radiodetermination satellite service - RDSS) – използват се в авиацията за точно определяне на местоположение, скорост или други параметри на обектите. „RDSS“ системата позволява обмен на точни данни и координати между различни обекти, а не само еднопосочно.
- Радио навигационни спътникови системи (Radio navigation Satellite services – RNSS) – прилага се в морската индустрия и се използва за определяне на време, местоположение, скорост на плавателното средство. Също така тук се предлагат и гласови комуникационни услуги.
- Военни услуги – мрежа от сателити, които се използват за военни цели. Често те оперират в различна от комерсиалната честотна лента – например X.

Глава 3. Проектиране на антенната част на система за спътникова комуникация на ниска наземна орбита

3.1 Обхват на проекта

„OC LEO 1 Ground Station“ представлява професионална наземна станция за работа със спътници на ниска наземна орбита, която предлага услугата – наземна станция като услуга за сателитни мисии, „multi mission ground station as a service“ и оперира в честотна лента S в диапазон 2035MHz – 2310MHz. Антенната система работи в кръгова поляризация – съответно с лява и дясна ориентация. Размерът на рефлектора е 3.2 метра. Технологиите за обработка на данните е базирана на „Network Cloud Engine“ , която включва множество микросървъри, функциониращи в облака, които осъществяват работата и мониторинга на различните наземни станции в мрежа, както и осигуряват достъп до user интерфейс за работата на крайния потребител. Проектът включва инсталацията на сателитна антена, работеща със спътници на ниска наземна орбита в S-band честотна лента, които оперират в орбита около 120 до 2000км над земната повърхност. Чрез внедряването на тази иновация, сателитните оператори ще могат да приемат данните от конкретните платформи, а компаниите или потребителите ще разполагат с техни ресурси в космоса, в случай, че притежават собствен сателит или съзвездие от такива. Тази система е насочена към университети, научни институти, училища и сателитни оператори, които могат да управляват наземния сегмент и да обработват данните от техните мрежи в космоса. Основните приложения са спътникови снимки на земята, наблюдение на околната среда, научни изследвания и анализи, военно разузнаване, превенция на бедствия и аварии, развитие на селското стопанство и животновъдство, както и други телекомуникационни нужди. Чрез наземната антена, се осигурява достъп до облачно приложение с лесен и интуитивен интерфейс, който ще даде възможност за осъществяването на сателитна мисия, чрез която данните от конкретни спътникови платформи, могат да се получат и обработят от крайните потребителите. Сателитната наземна антена, която ще представя е част комуникационна мрежа и дава възможност за бърз достъп до широк брой спътникови платформи, които извършат широк спектър от мисии.

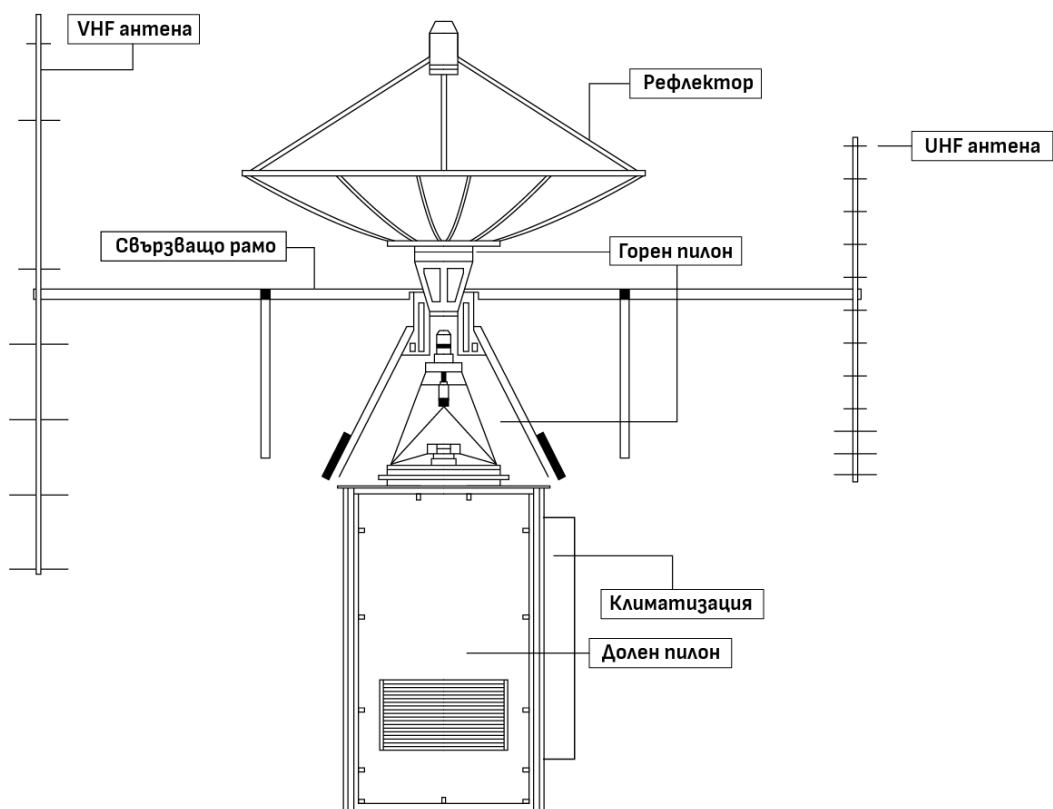
Технологията, която използваме в този случай позволява да се достъпят мрежа от наземни сателитни антени, разположени в различни географски райони, чрез една единствена точка за достъп, като се използва облачно-базирана платформа “Network Cloud Engine” (NCE) Фигура 6, за да се предадат данните от центъра за контрол на сателитната мисия до спътниковото съзвездие. Предимството на това решение е, че операторът на услугата не е нужно да управлява поединично всяка отделен сателитен терминал, а посредством “NCE” да оркестрира целия процес от едно място. По този начин потребителят има възможност едновременно и ефективно да планира и реализира многобройни сателитни мисии и да получи масивите от данни до централен сървър в облака, след предоставянето на индивидуални потребителско име и парола.



Фигура 6. процес на обработка на данни – Data Flow, [Красимир Терзиев]

3.2 Общ план и основни компоненти на „ОС LEO 1“ наземна антена (Фигура 7)

- Параболичен рефлектор – представлява 3.2м метален диск (от алуминий), комплект облъчвател в честотна лента “S” (RF Feed).
- Горен пилон (Upper Pylon) – механична система, която помещава моторите за елевация и азимут, както и компоненти за изпращане на сигнали по линията „нагоре“
- Долен пилон (Lower Pylon)– Основна колона, която поддържа горния пилон и свързва наземната станция към земята. В него се намират и елементи на антената, ниско-шумов усилвател (LNA), високо-мощен усилвател (HPA), синхронизатор/ризолвър (определя точната позиция на антенната система по азимут и елевация в градуси), система на контрол на антената (antenna control unit).
- Климатизация – осигурява подходяща температура и охлаждане на елементите в долния пилон.
- Свързващо рамо – опорен лост от фибростъкло или алуминий, който поддържа YAGI антените
- UHF YAGI антена – антена, оперираща в честотна лента UHF
- VHF YAGI антена - антена, оперираща в честотна лента VHF



Фигура 7. Илюстрация на OC LEO 1 DY антена, [Красимир Терзиев]

Техническа спецификация S-band, антенна система OC-LEO 1

Спецификация	Приемане Rx	Предаване Tx
Честотен спектър	2210-2310 MHz	2035-2120 MHz
Максимално изотропно усилване на антената (Maximum isotropic gain)	34.8dBi	34.8dBi
Широчина на лъча	3.1°	3.3°
Поляризация	Дясно/ляво ориентирана, X-POL	Дясно/ляво ориентирана, X-POL
Шумова температура на приемника	291 K @ 5° EL	Не се прилага

Еквивалентна изотропна излъчена мощност EIRP	Не се прилага	54 dbW
G/T	10.6dB/K	Не се прилага
Усилвател Tx		100W
Модулация	Конфигурира се, според спътниковата система	Конфигурира се, според спътниковата система

Обхват на проекта – проектиране, монтаж на антенна система за спътникова комуникация на ниска наземна орбита.

Фаза 1 – Избор на локация за „ОС LEO 1“ антенна система

- Избор на физическа локация, на която да се монтира антена
- Избор на подходящо място за електрическо табло и допълнителните външни елементи
- Определяне на дължина на кабелни трасета и тръби за присъединяване към електрическата мрежа и Интернет кабелите

Фаза 2 – Подготовка на обекта

- Дизайн и конструкция на основите, както и опорните точки
- Дизайн и подготовка на заземителните съоръжения
- Дизайн и подготовка на електрическите връзки и Интернет кабелите
- Дизайн и подготовка на нужните тръби за полагане на кабели
- Дизайн и конструкция на гръмоотводни съоръжения
- Безопасност на обекта/локацията – Телепорт оператора спазва и се придържа към инструкциите за безопасност за всички служители и персонал, които извършват дейностите по проекта.

3.3. Технически изисквания на антенната система

- Електрически изисквания
Антената изисква еднофазов променлив ток, 110 – 240VAC, 50 – 60Hz. Връзката следва да се защити и обезопаси с автоматични предпазители. Максималната мощност, която трябва да се осигури за наземната станция е 6Kw, 32Amp.
- Заземяване на съоръжението
За целите на проекта са осигурени всички необходими електрически компоненти, за да осигурим заземяването на антената. В допълнение се спазват и регулаторните изисквания и стандарти при извършването на тази дейност.
- Мълниезащита
Проектът включва и необходимото оборудване и осигурява мълниезащита на антенната система. Всички елементи са инсталирани професионална така, че да обезопасят съоръженията. Мълниезащитата, която е част от този проект, не се

ограничава само до антенната система, но се разпростира и на други съоръжения и компоненти, свързани с наземната станция. Подходът включва професионално проектиране и инсталация на отвеждащи електричеството системи, които са специално разработени за тази система. Те трябва да бъдат интегрирани в съоръженията и да бъдат способни да отведат потенциално разрушителния електростатичен разряд, който може да доведе до нарушения в работата и комуникацията със спътника. Всички използвани методи са в съответствие със стандартите за сигурност и качество, като се вземат предвид и местните климатични условия и вероятността за мълнии.

- Изисквания за Интернет Свързаност.

Интернет свързаността е планирана така, че да осигури необходимите наземни капацитети, които да обслужват сателитните мисии без прекъсването на услугата. За целта антенната системата, и в частност модема, се свързва към MAN (Metropolitan Area Network) на доставчик на Интернет услуги, чрез LAN интерфейс и порт, който поддържа скорости до 1Gbps. Осигурява се и резервирана свързаност чрез друг доставчик, за да се избегне загуба на спътниковата комуникация. По този начин се предоставя основна Интернет свързаност и резервираност, както се позволява високоскоростен трансфер между сателитната платформа и наземната станция. Капацитетът е ключов фактор, вземайки предвид нарастващите данни, които се обработват от системи на ниска наземна орбита.

Описание на дейностите, които трябва да се извършат от системния интегратор

За да се гарантира коректната инсталация на „ОС LEO 1“ антена (Фигура 8), както и функционирането ѝ, системният интегратор трябва да подготви прецизно предвиденото място за монтаж, като осъществи според предварителните изисквания, следните дейности:

- Избор на подходящо място за инсталация, което да е с добра видимост към хоризона за антената.
- Избор на място за монтаж на електрическо табло
- Избор на локация за монтаж на стойка за уеб камера
- Подготвяне на основата за инсталацията
- Полагане на кабелни трасета за Интернет свързаност
- Окабеляване за свързване на електрическите кабели
- Подготовка на електрически връзки за заземяване
- Подготовка на гръмоотводни съоръжения
- Подготовка на мястото за инсталация, осигуряване на необходимите машини/кранове и персонал за деня на инсталирането на оборудването

- Системният интегратор трябва да осигури подемна машина, за да може антената да се повдигне и постави на точното място, предвидено в проекта. Използването на монтажен кран е необходимо, за да се сглобят всички части на антената, преди извършването на инсталацията.

Избор на място за колокация на „ОС LEO 1“ антенна система

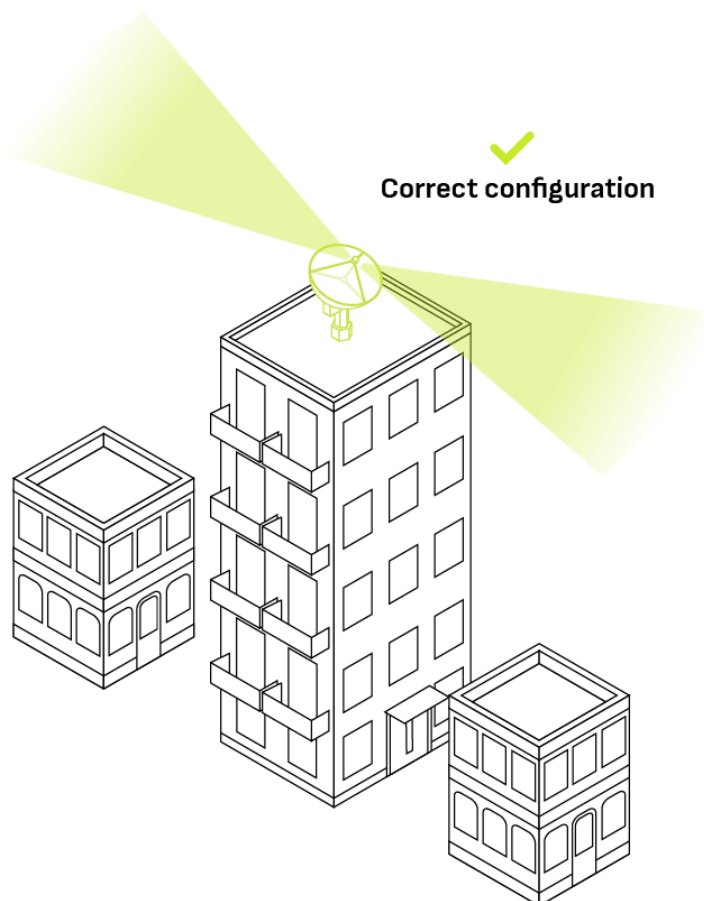
Системният интегратор трябва да се вземе предвид следните изисквания и детайли, преди да направи окончателен избор за мястото на „LEO ОС 1“ антена:

- Добра видимост към хоризонта и достатъчен ъгъл на елевацията на антената към сателитната платформа
- Отсъствие в близост на обекти, които биха причинили интерференции
- Отсъствие в близост на обекти, които биха попречили на плавното ротационно движение на антената, което да ограничи нейния обхват и съответно да възпрепятства комуникацията със спътника.
- Отсъствие на предаватели или други антени, които биха могли да причинят честотни интерференции и да влошат сигнала
- Предварителен анализ относно изграждане на солидна основа на антената
- Предварителен анализ относно обезпечаването на антенната система с достатъчни капацитети за електричество и Интернет свързаност.
- Предварителен анализ как да се колокира и защити прилежащото оборудване
- Системи за превенция и защита срещу неоторизиран достъп.
- Осигуряване на достъп за подемните машини и кранове, предвидени за инсталацията
- Осигуряване на достъп за извършване на инсталационните дейности
- Осигуряване на достъп за осъществяване на планираната поддръжка на антената, както и оборудването на място.

Обобщение на предварителните изисквания за инсталация – фигура 8

- Осигуряване на добра видимост към хоризонта – преди инсталацията на антената, проверяваме щателно, че наличните в съседство обекти и препятствия са съвместими с изискванията на проекта за видимост и те не възпрепятстват движението на антената за проследяване на спътника на ниска наземна орбита.
- Осигуряване на достъп – технологичният обект трябва да осигурява нормален достъп до съществуващата инфраструктура, като електричество, канална мрежа, оборудване, комуникации и други. В допълнение хардуерът и мястото следва да са безопасни за работа и поддръжка.
- Сила на вятъра – извършване на полеви тест на антената при максимални стойности на силата на вятъра, за да се установи, че рефлекторът е стабилен и не променя своите допустими параметри за комуникация със сателитите.

- Честотни интерференции – преди въвеждане в експлатация на антената трябва да сме сигурни, че в близост няма друго радио оборудване, което да пречи и да създава интерференция с „ОС LEO 1“ антенна система.
- Метеорологични условия и околна среда – анализиране на климатични условия в рамките на годината, за да се уверим, че те не биха попречили на функционирането на “ОС - LEO 1” антена
- Достъп до обекта и сигурност – интегриране на система за контрол чрез персонализирани карти, за да се предотврати неоторизиран достъп на лица, които да застрашат или нарушат работата на антенната система.
- Разрешителни за обекта – да се осигурят необходимите разрешителни за строеж, при изграждането и инсталацията на антената.
- Радио-честотни лицензи – да се получат необходимите радио лицензи, които са необходими при експлоатация на антената. Тези лицензи се издават от Комисия за регулиране на съобщенията.



Фигура 8. правилна конфигурация/инсталация, [Красимир Терзиев]

Глава 4. Оценка и сравнения на технологични параметри на проектираната наземна станция

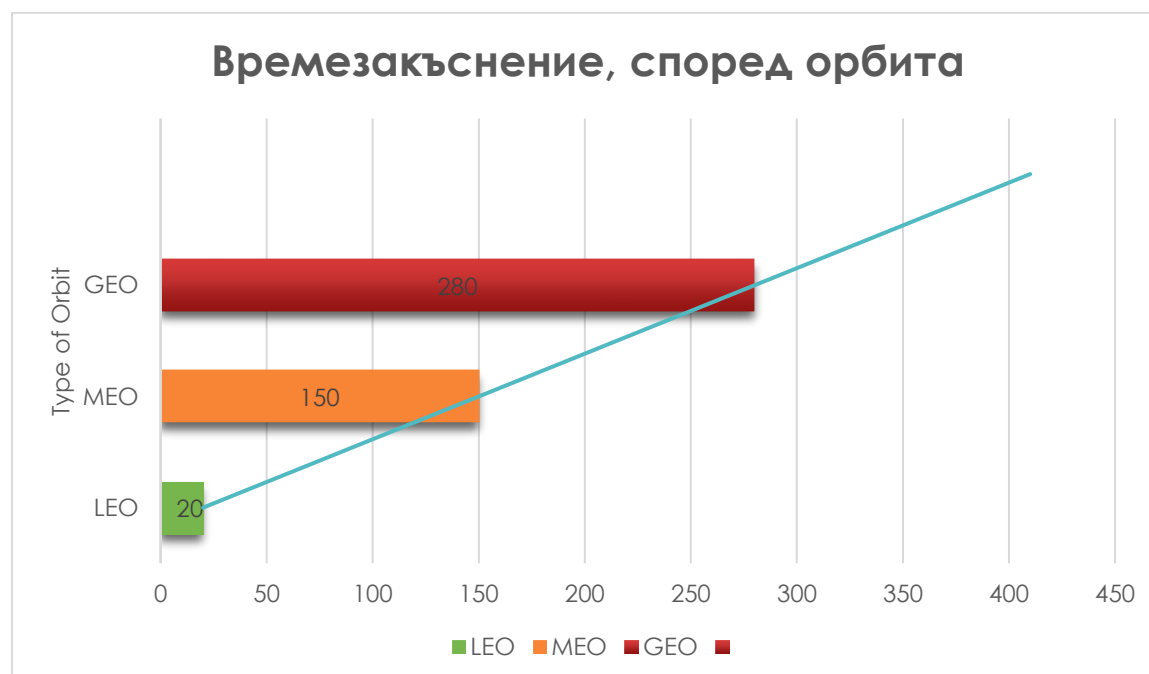
4.1 Изследване и определяне на техническите характеристики на проектираната наземна станция за космически комуникации

В тази глава е направен анализ на технологичните параметри на проектираната система за спътникова комуникация на ниска наземна орбита. Извършени са измервания и оценка на проектираната антенната част на система за спътникова комуникация. Усъвършенстването на параметрите на антенната система позволява повишаване на функционалността на цялата спътникова комуникация. Определени са основните технологични стойности, които определят функционалността и качеството на спътниковата връзка.

Представят се резултатите от направеното експериментално приложение на сателитната антена и се извършва количествена оценка и анализ на качеството и ефективността на системата. Анализират се и се описват резултатите от направените емпирични изследвания, въвеждат се в таблици и се визуализират чрез диаграми. След извършването на обстоен анализ на получените данни от системата, можем да оценим при кои показатели наблюдаваме подобрени функционални и експлоатационни характеристики.

Експериментално е оценена проектираната и разработена антенна система, която показва преимуществени резултати в сравнение текущото технологично ниво на антенната част на спътникова комуникационна система.

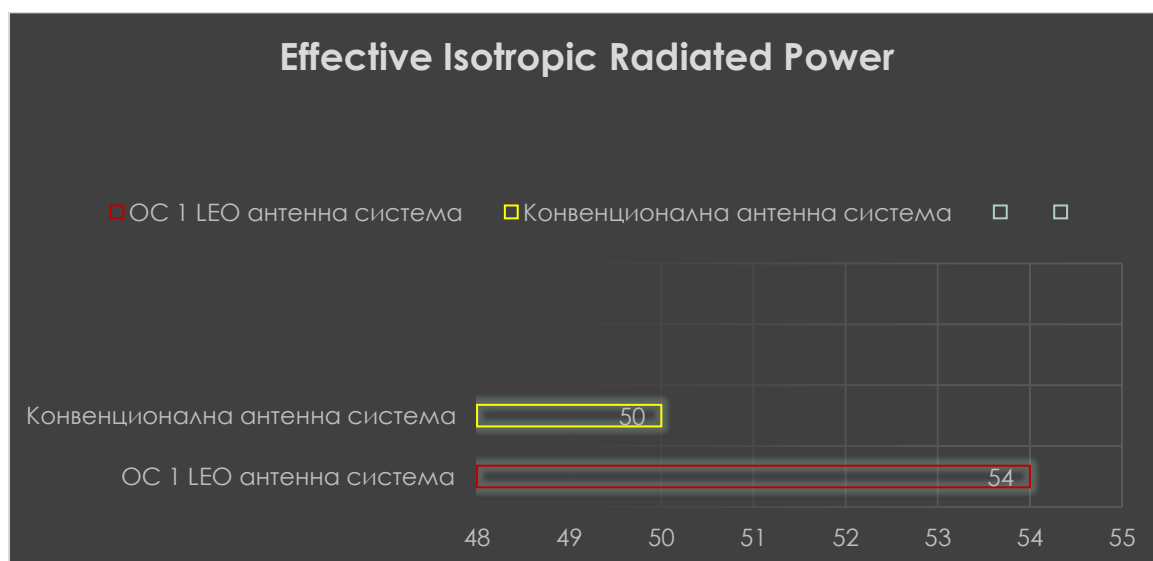
Графика 1



Тип орбита	LEO	MEO	GEO
Време закъснение m/s	20	150	280

Извод: В тази графика е представено сравнение при използването на антенни системи на ниска наземна орбита, спрямо платформи на средна и геостационарна орбита.

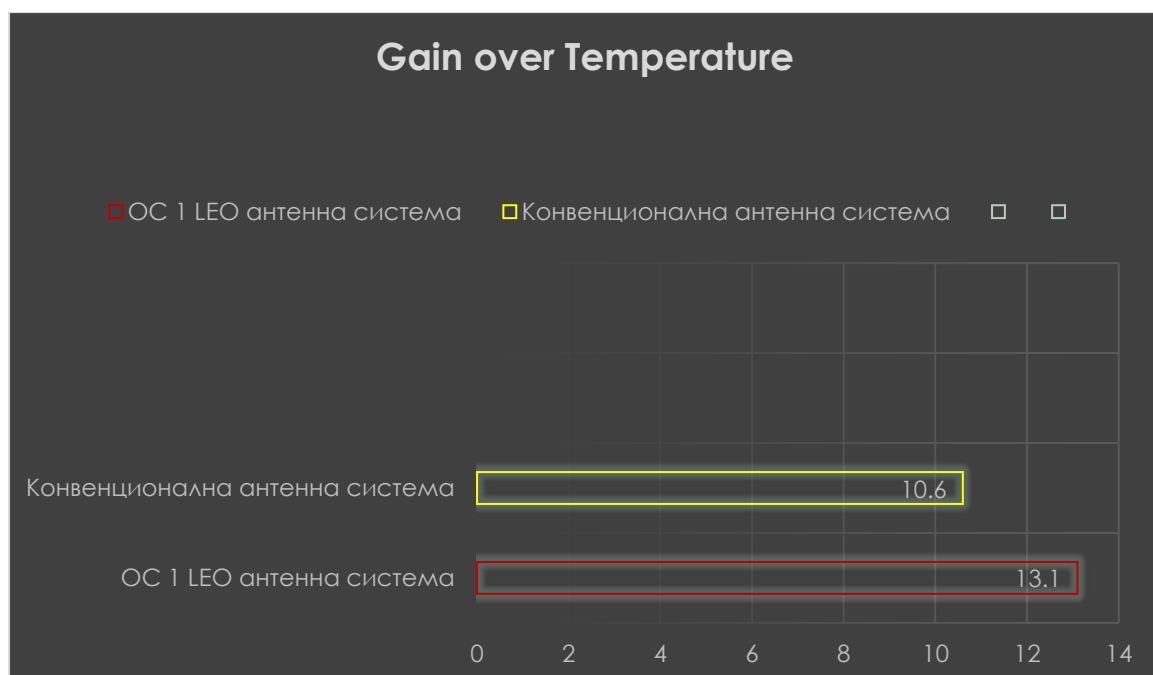
Графика 2



Показатели	OC LEO 1 антена	Конвенционална антенна система	Разлика
EIRP	54dBW	50dBW	4dBW

Извод: Графиката представя сравнение и анализ на стойностите на ефективна изотропна излъчена мощност при антенна система “OC LEO 1”, спрямо конвенционални антени.

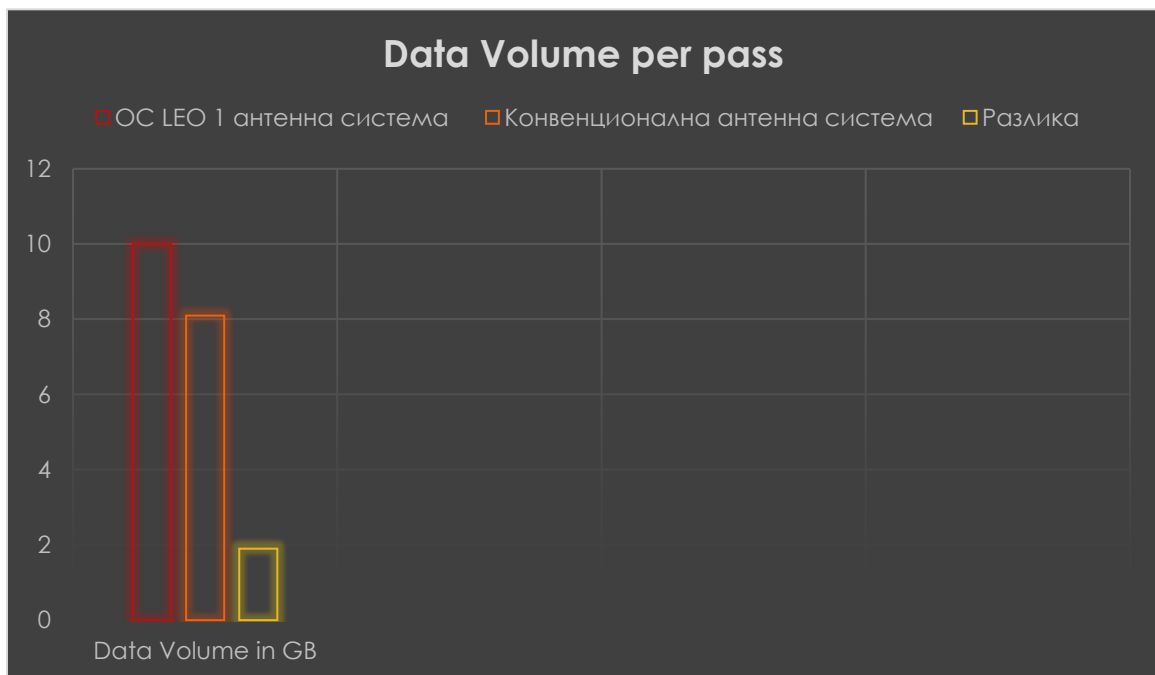
Графика 3



Показатели	ОС LEO 1 антена	Конвенционална антенна система	Разлика
G/T	13.1dB/K	10.6dB/K	2.5dB/K

Извод: В графиката сме изследвали един от критичните параметри на антенната система, от който зависи приемането на спътников сигнал от космоса, а именно “Усилване спрямо температура” – G/T. Направено е сравнение между проектираната антенна система „ОС LEO 1“, спрямо конвенционални антени. Оценката на тази стойност ни дава информация за способността на антената да приема слаби сигнали от космоса и едновременно да поддържа ниски нива на шум, които влияят негативно и намаляват полезния сигнал, получен от приемника. По-високите нива на G/T дават възможност на системата да работи по-добре в близост до други телекомуникационни уреди, като предотвратяват интерференции, които водят до декрадация на радио сигнала. Антени с ниски нива на G/T често не могат да приемат спътников сигнал, който затихва в атмосферата. В проектираната антена на ниска наземна орбита “ОС LEO 1” имаме преимуществена стойност от 13.1dB/K, която е с 2.5dB/K по-висока спрямо стандартното оборудване. Експлоатирането на нашата антена ни позволява по-ефективна комуникация със сателита, което води до приемане на по-голям обем от данни по време на преминаването на спътника през хоризонта.

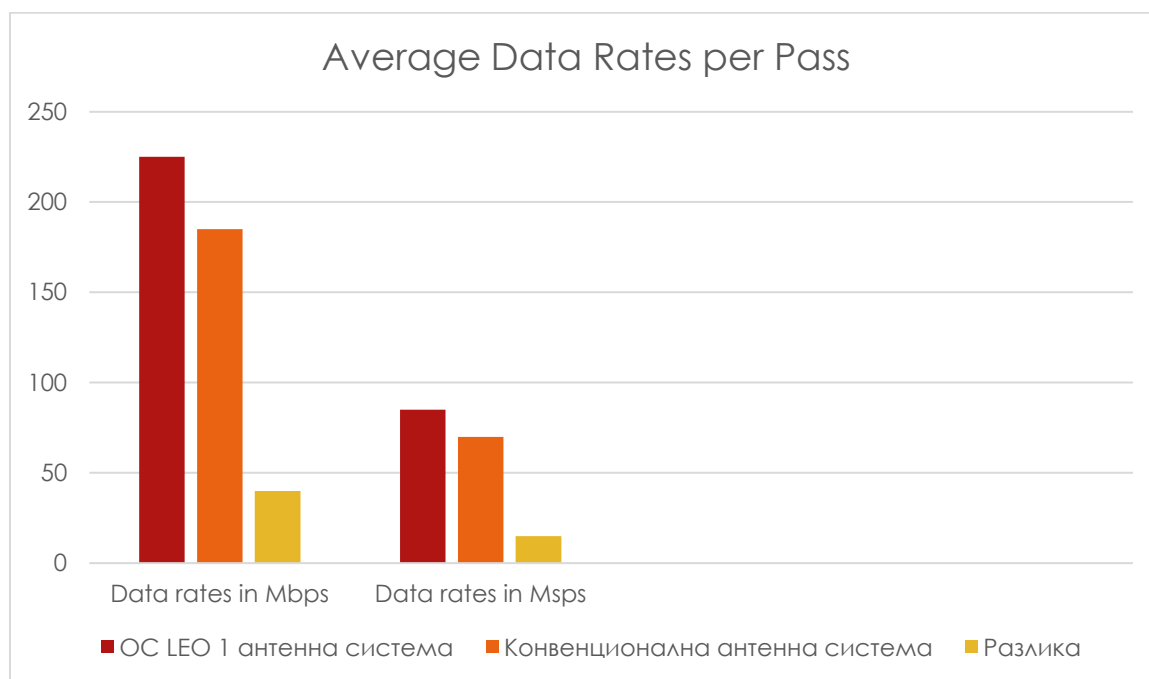
Графика 4



Показатели	ОС LEO 1 антена	Конвенционална антенна система	Разлика
Data Volume	10 GB	8.1GB	1.9GB

Извод: В тази графика е представен анализ и оценка на ефективността на антенната система при преминаване на спътника през хоризонта. Извършено е сравнение между проектираната антенна система и конвенционалните антени. Тя визуализира данните, които очакваме да се приемат от сателитната платформа при средно време на комуникация с антената (satellite pass) от 5-7 минути. В резултат от по-ниските стойности на времезакъснение, оптимизирани G/T и EIRP параметри, постигаме и по-бързи скорости на обмен на данни и възможност за получаване на по-голям обем от информация. Представени са преимуществени резултати от проектираната система на ниска наземна орбита със стойности 10GB, които са с 1.9GB повече спрямо настоящите антени на пазара.

Графика 5



Показатели	OC LEO 1	Конвенционална антенна система	Разлика
Mbps	225Mbps	185Mbps	40Mbps
Msps	85Msps	70Msps	15Msps

Извод: Графично е представен анализ, оценка и сравнение на скоростите на приемане от проектираната антенна система на ниска наземна орбита, спрямо аналогични продукти на пазара. Визализирани са разликите в скорости, измерени в Mbps (Mega bit per second) и Msps (Mega Symbols per second), като се доказва оптимизация при експлоатация на антена “OC LEO-1”. Очаквани са преимуществени стойности за приемане със стойности 225Mbps и 85sps, което е с 40Mbps и 15Msps по-висока скорост от еквивалентни платформи. Това позволява интеграция със софтуерни и хардуерни приложения, изискващи по-бързо предаване на данни. Цялостното подобрение на параметрите на антенната система осигурява по-сигурна, надеждна и постоянна комуникация със спътниковите платформи на ниска наземна орбита, с високи нива на наличност на услугата.

4.2 Приложение на предложения подход за количествена оценка на качеството и ефективността на системата

На базата на извършените сравнителни анализи в тази глава от дисертационния труд, е извършена количествена оценка на качеството и ефективността на проектираната система “ОС LEO 1” на ниска наземна орбита. Презентирани са стойностите на представените показатели (обозначени с C1, C2, C3, C4, C5) и в процентно съотношение са доказани преимуществени резултати, спрямо настоящите антенни системи. Оценката на качеството е извършена по пет ключови критерия, като всеки един от тях е представен графично.

Формулата, която е приложена е:

Показател C1 - $(C1 \text{ ОС LEO 1 антенна система} / C1 \text{ Конвенционална антенна система}) \times 100\%$

Показател C2 - $(C2 \text{ ОС LEO 1 антенна система} / C2 \text{ Конвенционална антенна система}) \times 100\%$

Показател C3 - $(C3 \text{ ОС LEO 1 антенна система} / C3 \text{ Конвенционална антенна система}) \times 100\%$

Показател C4 - $(C4 \text{ ОС LEO 1 антенна система} / C4 \text{ Конвенционална антенна система}) \times 100\%$

Показател C5 - $(C5 \text{ ОС LEO 1 антенна система} / C5 \text{ Конвенционална антенна система}) \times 100\%$

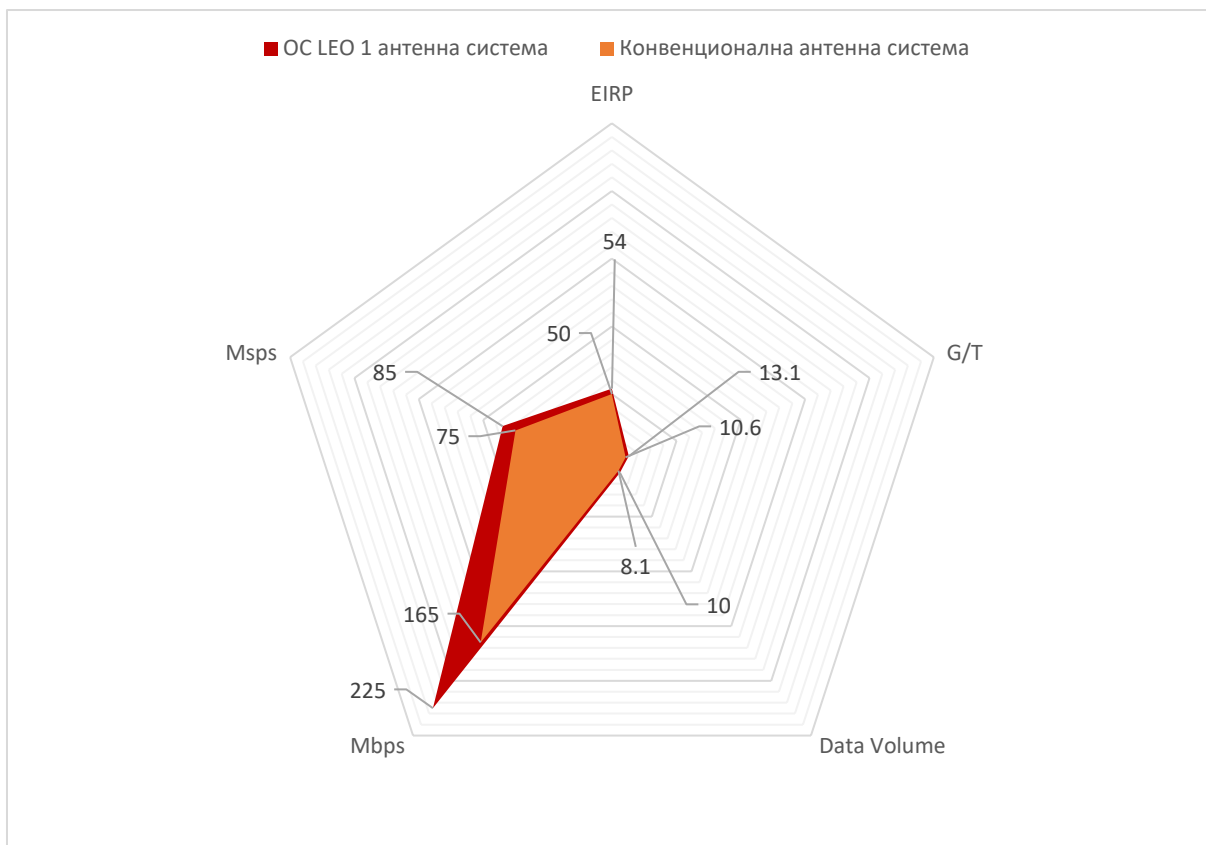
От получения резултат изваждаме 100%, за да получим с колко процента сме повишили ефективността на системата по дадения критерий. Разликата е представена в колона „Повишение на ефективност на антенната система“ в проценти.

За нагледност на резултатите от извършената оценка и анализ, са изготвени радарни диаграми по отделните показатели.

Таблица с обобщени резултати на стойности при антенна система “ОС LEO 1” и конвенционалната антенна система.

Показатели:

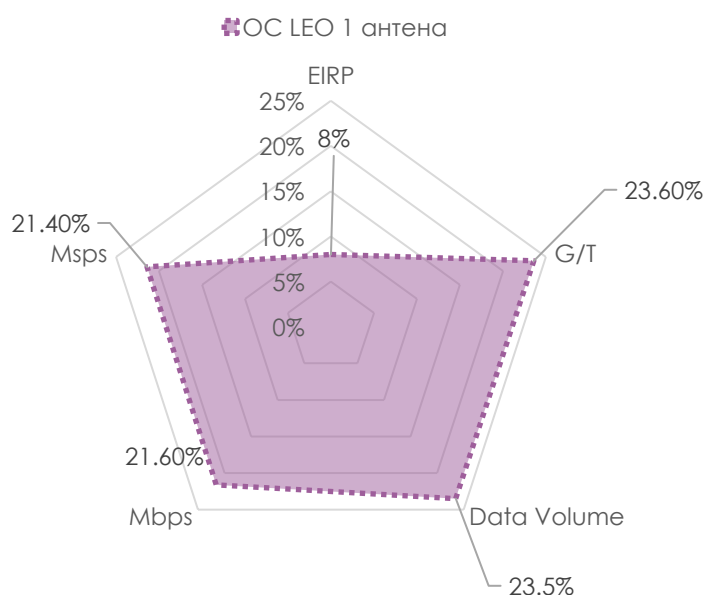
Показатели	ОС LEO 1 антенна система	Конвенционална антенна система	Повишение на ефективност на антенната система в %
C1. Ефективна изотропна излъчена мощност EIRP в dBW	54	50	8%
C2. Коефициент на качество на антената в режим на приемане G/T в dB/K	13.1	10.6	23.6%
C3. Обем данни на сателитен „pass“ в GB	10	8.1	23.5%
C4. Скорост на приемане на данни в Mbps	225	185	21.6%
C5. Скорост на приемане на данни в Msps	85	70	21.4%



Диаграма 1:

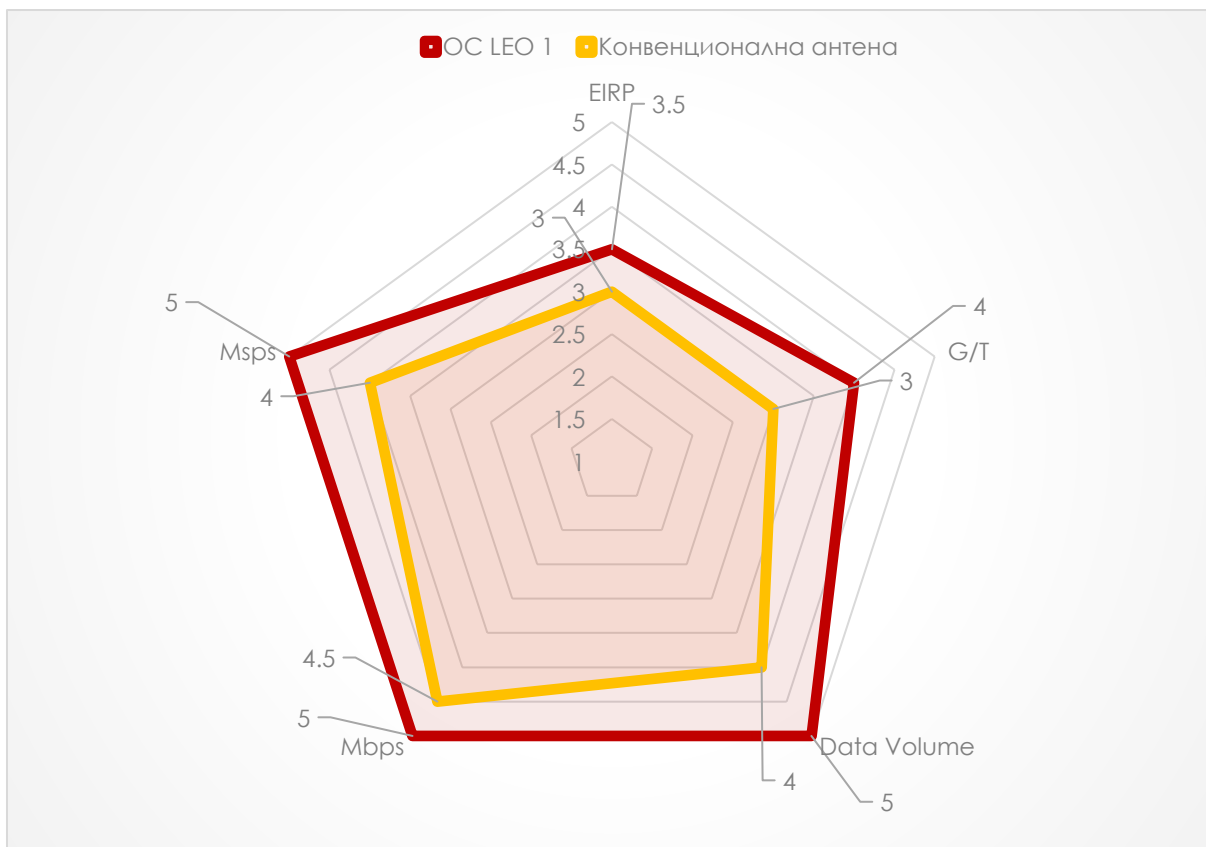
На радарната диаграма е илюстрирано сравнение на получените резултати от графиките в тази глава за основните параметри на проектираната антенна система спрямо конвенционални антени. Представена е разликата, изразена пространствено в площ. В оранжев цвят са визуализирани стойностите на конвенционалните антенни системи, а в тъмно червен са тези на проектираната антенна система на ниска наземна орбита. От резултатите следва, че по критерии скорост на обмен на данни в Msps и Mbps съществува сериозна оптимизация и подобрене на ефективността, както и при обем на данни (Data Volume) и коефициента на приемане, изразен в G/T. При тези параметри имаме над 20% повишение спрямо аналогичните спътникови системи, което е илюстрирано чрез фигурата с по-голямата площ, представена на диаграмата. Получените резултати дават количествена оценка кои критерии са подобрени при внедряване на проектираната система. Оптимизацията е доказана във всички критични елементи, които се анализират при експлоатация на антенни системи на ниска наземна орбита.

ПОВИШЕНИЕ НА ЕФЕКТИВНОСТ НА СИСТЕМАТА В %



Диаграма 2:

На радарната диаграма е представена в процентно съотношение оптимизацията по отделните критерии, при експлоатация на проектираната антенна система. В лилав цвят е илюстрирана фигурата, която представя оптимизация по петте основни критерия, както и цялостно повишение на ефективността на системата. Като начална стойност е взета 0%, което представлява критерий на конвенционална антенна система (при който нямаме оптимизация) и е заложен в проценти подобрението им по основните параметри като скорост на обмен на данни в Msps и Mbps, както, обем получени данни от сателитната мисия, коефициента на приемане G/T и ефективната изотропна излъчена мощност.



Диаграма 3:

За целите на оценяването на функционалността на системата е използвана радарна диаграма, на която са представени фигури, чиято площ изразява мнението и оценката на анкетираниите и провелият тестове инженери. В оранжев цвят е илюстрирана площта на конвенционална антенна система, а в червен тази на проектираната OC LEO 1 антена. Както се вижда, площта на интегрираната OC LEO 1 система е по-голяма, което доказва преимуществени резултати, спрямо технологиите, които се експлоатират към момента. На базата на получените резултати можем да заключим, че имаме постигната оптимизация на спътниковата антена, както и подобри резултати по основните параметри, което води и до високо ниво на удовлетворение на крайните потребители.

За да изчислим повишението на ефективността на функционалността на системата, е подготвена тестова система на проектираната антена на ниска наземна орбита, както и конвенционална антена, инсталирани в технологичен център на компания "Orbital Connect" (доставчик на сателитни комуникационни услуги и продукти). На двете антенни платформи бяха извършени тестови сателитни мисии със спътници, със средна продължителност между 5 и 7 минути на сателитно преминаване (satellite pass). Осигурен е и достъп до софтуера "Network Cloud Engine", чрез който се избира целеви спътник, както и наземната антена, която ще приема данните от платформата. Потребителите, които тестват системата са 5 сателитни инженери (обозначени в таблиците с E1, E2, E3, E4, E5), които са сертифицирани за работа с Телепорт станции и оборудване. Те получават пълен достъп до ресурсите при експлоатацията на "OC-LEO 1" антена, както и конвенционалната, като задават критериите, конфигурират оборудването и въвеждат параметрите в Network Cloud Engine, за да получат крайната информация в облачна система на Amazon – "AWS Cloud". За проведения експеримент, на всеки един инженер в му бе предоставен пълен достъп до оценяваната

система, както и съответните анкетни карти, чрез които всеки един от тях да даде своята обрана връзка, оценка и мнение за системата.

Цели на проучването

Провеждането на изследването в дисертационния труд има няколко цели. Първата цел е да се получат мнения от страна на инженери, разработващи антенни системи, които биха имали важна роля при по-нататъшно технологично и структурно усъвършенстване и развитие на спътниковите системи и комуникационни продукти, които са част от цялата еко система.

Втората цел е да се получат емпирични данни, резултати и анализ на наземни антени на ниска орбита, които биха имали важна роля при определяне на ефективността на системата.

Третата цел е да се установи дали системата е достатъчно универсална, ценово достъпна и лесна за интегрирана, за да има възможност да се използва от повече бизнес организации, университети, както държавни и научни институции.

Резултати и методология за оценка

За да изчислим повишението на функционалността на системата, прилагаме метод за оценка по петобалната система в скала от 1-5 (1 - „Слабо“, 2 – „Средно“, 3 – „Добро“, 4 – „Много добро“ и 5 „Отлично“ ниво на функционалност). Приемат се и не цели, десетични числа при оценяването (например 2.5 или 3.5 и т.н.). Стойностите са изразени и в процентно съотношение, като 20% се приема за „Слабо“, а 100% за „Отлично“. Критериите, които се анализират са P1. EIRP, P2.G/T, P3.Data Volume, P4.Mbps и P5.Msps. Всеки потребител, който тества антените, попълва своето мнение и оценка в системата. Общият брой на инженерите провеждат емпиричните анализи и тестове са E=5. След приключване на анкетата, оценките са представени в табличен вид и се сумират и разделят на общия брой потребители, като се взема средната стойност на съвкупността от числовите данни (средноаритметичен подход). Представени са две таблици, които включват оценка по петобалната система при проектираната система на ниска наземна орбита „OC LEO-1“ и конвенционални антенни системи. В края е изчислена и средната оценка на системата и общото подобрение, като стойност и в проценти.

Вземайки предвид стойностите от направените оценки, резултатите са нанесени в диаграма.

Формулата, която се прилага за изчисление на средноаритметичната стойност е на оценките от потребителите, които тестваха системата е:

Формула за OC LEO 1 антена:

$$\text{Показател P1} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P1Ec$$

$$\text{Показател P2} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P2Ec$$

$$\text{Показател P3} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P3Ec$$

$$\text{Показател P4} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P4Ec$$

$$\text{Показател P5} - \Sigma(E1+E2+E3+E4+E5)/5 = P5Ec$$

Формула за изчисление на средна оценка за функционалността на системата:

$$EcP = \Sigma(P1Ec+P2Ec+P3Ec+P4Ec+P5Ec)/5$$

Формула за конвенционална антена:

$$\text{Показател S1} - \Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S1Ec$$

$$\text{Показател S2} - \Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S2Ec$$

$$\text{Показател S3} - \Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S3Ec$$

Показател S4 - $\Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S4Ec$

Показател S5 - $\Sigma(S1+S2+S3+S4+S5)/5 = S5Ec$

Формула за изчисление на средна оценка за функционалността на системата:

$EcS = \Sigma(S1Ec + S2Ec + S3Ec + S4Ec + S5Ec)/5$

Скала за оценка на функционалността на системата

Оценка/Стойност	Резултат/ниво на функционалност
1	Слабо
2	Средно
3	Добро
4	Много добро
5	Отлично

Таблица с оценки на антенна система „OC LEO 1“

Показатели	E1	E2	E3	E4	E5	Ec	Оценка в % по петобална система
P1. EIRP	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	70%
P2. G/T	4.5	4	4.5	4	3	4	80%
P3. Data Volume	5	5	5	5	5	5	100%
P4. Mbps	5	5	5	5	5	5	100%
P5. Msps	5	5	5	5	5	5	100%
EcP. Средна оценка						4.5	90%

Таблица с оценки на конвенционална антенна система

Показатели	E1	E2	E3	E4	E5	Ec	Оценка в % по петобална система
S1. EIRP	3	3	4	3	2	3	60%
S2. G/T	2.5	3.5	2	4	3	3	60%
S3. Data Volume	4	5	4.5	3.5	3	4	80%
S4. Mbps	5	4	4	5	4.5	4.5	90%
S5. Msps	4	5	4.5	4.5	4.5	4.5	90%
EcS. Средна оценка						3.8	76%

С оглед горепосочените резултати, общата функционалност на проектираната система получава 0.7 пункта по-висока оценка от настоящите антени по петобалната система или средно 14 % повишаване на ефективността.

4.3 Изводи

В тази глава са представени резултати от направени измервания на проектираната антенна система за спътникови комуникации. Определени са съществени технологични параметри като времезакъснение, чувствителност на приемане на сателитен сигнал, мощност на усилвателите и силата на сигнала, изпратен към спътника, скорост на предаване на данни, температурна устойчивост, орбитални специфики, както и цялостна ефективност на проектираната система за ниска наземна орбита. Получените резултати са сравнени с резултати на текущо експлоатирани технологични решения за спътникови комуникационни системи. Направени са оценки по набор от критерии като мощност на излъчване, коефициент на ефективност на приемане, обем и скорост на пренесените данни при преминаване на спътник (satellite pass) и анализ на времезакъсненията по орбитална позиция. Този многокритериален избор графично е интерпретиран, което позволява да се направят оценки на проектираната антенна система и да се сравни със съществуващи решения. Направените измервания показват повишаване на изисквани параметри на антенната система, което благоприятства повишаването на функционалността на наземната част на системи за спътникови комуникации.

Приноси на дисертацията

1. Направен е аналитичен обзор на спътниковите комуникации, чрез който е определена полезността на използване на нискоорбитни сателити и са определени технологичните функции, които трябва да изпълняват наземните станции
2. Проектирана е наземна станция за спътникови комуникации за нискоорбитни сателити, която позволява да се поддържат информационни услуги чрез нискоорбитни сателити
3. Разработена е антенна система за наземната станция, която позволява да се постигне по-висока скорост на комуникация, по-голямо усилване на сигнал за приемане и предаване, по-голяма обща функционалност.
4. Антенната част е оценявана чрез експерименти като са постигнати по-високи технологични параметри от съществуващ прототип и използването и в реална система за спътникови комуникации.

Резултати от дисертационния труд са приложени при внедряване и разработването на проект за антенна система „OC-LEO 1“ в честотна лента S, предназначена за комуникация със спътникови платформи на ниска наземна орбита.

Благодарности

Благодаря на своя научен ръководител проф. д-р Димитър Карастоянов за ползотворната съвместна работа, за всички съвети и градивните критики, които отправя.

