**TЕХНОЛОГИЧНО УЧИЛИЩЕ ЕЛЕКТРОННИ СИСТЕМИ**



**към ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ**

**ДИПЛОМНА РАБОТА**

**по професия код 481020 „Системен програмист“**

**специалност код 4810201**  **„Системно програмиране“**

Тема: ............................................................................................

...........................................................................................

Дипломант: Дипломен ръководител:

*Име, Презиме, Фамилия титли Име Фамилия*

СОФИЯ

2 0 2 5

* 1. **TЕХНОЛОГИЧНО УЧИЛИЩЕ ЕЛЕКТРОННИ СИСТЕМИ**



**към ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ**

Дата на заданието: 28.10.2024 г. Утвърждавам:..............................

Дата на предаване: 28.01.2025 г. / проф. д-р инж. П. Якимов /

**ЗАДАНИЕ**

**за дипломна работа**

**ДЪРЖАВЕН ИЗПИТ ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА ТРЕТА СТЕПЕН НА ПРОФЕСИОНАЛНА КВАЛИФИКАЦИЯ**

**по професия код**  **523050 „Техник на компютърни системи“**

**специалност код 5230502 „Компютърни мрежи“**

на ученика......................................................................................от 12 ?? клас

1. Тема:...........................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

1. Изисквания:................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

..........................................................................................................................

1. Съдържание 3.1 Теоретична част

3.2 Практическа част

3.3 Приложение

Дипломант :...........................................

/ хххххххххххх /

Ръководител:..........................................

/ инж. xхххххххх /

ВРИД Директор:...............................................

/ ст. пр. д-р Веселка Христова /

**УВОД**

През последните години интереса към изследване на космоса се засилва все повече и повече. Макар и скъпо и трудно осъществимо, много учени започнаха да работят по изследването на други планети, и изследването на възможностите за човешки живот на други планети. Но чрез стандартизиране и намаляване на размера на сателитите изследванията на космоса, и космическите тела, може да стане по-евтино и лесно от всякога. Тук идват така наречените малки сателити, като за малък сателит се счита всичко от 0.1г до 1200кг, но най-разпространените малки сателити са така наречените нано сателити. Те имат минимално тегло от 1.1кг и максимално 10кг, което лимитира и размера на сателита и позволява на няколко малки сателита да бъдат изкарани в орбита от една ракета носител. Но с лимитирането на теглото идва следващият проблем, различните размери, и начини на изстрелване на сателити от ракетата носител. Тук на помощ идва стандарта CubeSat, измислен през 1999г от професор Джорди Пуиг-Суари от калифорнийският политехнически университет и Боб Туигс от Станфорд. Като оригиналната идея зад измислянето CubeSat не била то да бъде прието като стандарт, а по скоро то да бъде инструмент, който позволява на студентите в университета да проектират, изработват и използват сателити. Като ограниченията заложени от двамата преподаватели се разпространили из университетите по света и станали стандарт постепенно. Първият CubeSat изстрелян в космоса е през 2003 на борда на руска ракета на Eurockot, като от тогава до 2023 са изстреляни над 2300 сателита отговарящи на стандарта CubeSat.

CubeSat стандарта ограничава както теглото така и размера на крайният сателит. Името на стандарта идва от това, че различните формати на сателити са разделени на кубчета с фиксиран размер 10x10x10 cm (така наречения 1U от 1 unit). От там всеки размер е базиран на тази единица, 2U (10x10x20 cm), 3U (10x10x30 cm), 6U (10x20x30 сm), 12U (20x20x30 cm). Комерсиалните сателити имат и допълнителни изисквания към, център на тежестта, термална устойчивост, ключове за включване на системите (тъй като всички системи трябва да са изключени при излитането на ракета). Тези допълнителни нововъведения са направени, поради постепенната комерсиализация на стандарта, Която е предизвикана от непрекъснатата нужда от евтини сателити за индустриални цели. Примерни са частни комуникационни сателити, сателити събиращи метеорологични данни или стандартни спътници за дистанционно изследване на земята.

…..

Основни показатели за класификация на на спътниците е тяхното тегло. За разлика от големите спътници, сателитите от класа на CubeSat се делят по техният обем и максимално допустимо тегло.

Таблица 1

Таблица 2

Основните изисквания са описани в стандарта ….. Американската космическа агенция NASA e разработила упътване за всички организации разработващи сателити CubeSat

….

Космическото образование в България Ендуросат…Университетската практика в училища и университети…..

От оригиналната идея на Джорди Пуиг-Суари и Боб Туигс до днешно време стандарта CubeSat се развива и в днешно време позволява на множество университети да разработват собствени сателити. Това подсигурява не само развитието на авиационните факултети в университетите, но и развитието на другите факултети, като позволява качването на различни експерименти от биологически, химически и физически характери, в космоса. Това развити води до такава експлозия в космическите програми на запад, че някои училища на започват да организират такива програми още в 11-12 клас. Където не само се научават базите за космоса и изстрелването на сателити, но и се учат бази по програмиране, хардуер, и електроника. Тези програми в Америка са спонсорирани дори и от правителството, с цел развитието на млади таланти в областта на космоса, и космическото изследване.

Въпреки малките си размери малките сателити съдържат всички основни системи откриваеми в големите им събратя. Това ги прави идеално средство за практическо обучение на космически инженери, и ги превръща в евтина платформа чрез която стотици научни проекти да намерят път и реализация в реалния космос.

Всеки сателит се разделя на отделни подсистеми. Те са: бордови компютър, захранваща система, система за събиране на телеметрия, комуникационна система, система за навигиране и позициониране и мисия представлявана от полезният товар.

Бордовият компютър е мозъка на операцията, той следи данните получени от телеметричните сензори и получава комуникацията от земята. Също така той навигира и насочва сателита за да може да се захранва, комуникира с земята или изпълнява мисията оптимално. Функцията на бордовите компютри може да се изпълнява от микроконтролер, микрокомпютри, програмируема логическа матрица (fpga), или комбинация от няколко системи. Като всеки вариант има своите предимства и недостатъци. При микроконтролерите изчислителната мощ е малка и не може да извършват сложни изчисления, но за сметка на това тяхната консумация на ток е ниска. При микроконтролерите също така вградената работна памет е малка. За разлика от микроконтролерите, микрокомпютрите разполагат с повече изчислителна мощност и повече вградена памет. За сметка на повишените изчислителни способности обаче, вградените едноплаткови компютри на са оптимизирани от към консумация на ток. Тук идва и третия вариант програмируема логическа матрица, така наречените fpga чипове представляват матрица от логически клетки, които могат да бъдат конфигурирани по такъв начин, че да изпълняват определена логическа/математическа задача. Това означава, че те могат да бъдат програмирани да контролират полета на сателита, да приемат комуникациите, и да контролират мисията, освен това дизайна им позволява паралелно изчисления, което заедно с модуларноста позволява на чиповете да извършват няколко операции едновременно. Това ги прави невероятно ефективни както в изчисленията така и от към енергийна консумация. Програмируемите матрици на пръв поглед са идеалният вариант от към консумация на ток и изчислителна мощ, но за разлика от микроконтролерите и микрокомпютрите са скъпи и трудни за програмиране. Има и още един вариант и това е комбиниран между компютър, микроконтролери и програмируеми логическа матрица. Най-често комбинирането е с цел взимането на позитивите на двата метода и намаляване на негативните им страни. А втория е чрез комбинирането да се постигне подсигуряване срещу грешки. Пример за комбинация е компютър и програмируема матрица, в този вариант матрицата се използва за по тежките изчисления, тъй като е по-енергийно ефективна от компютъра, той е там само за да приема комуникации от земята и да приема телеметричните данни.

Втората най-важна система за един сателит е комуникационната система (така наречения data link). Тази система представлява връзката на сателита с земята, и е единственият начин наземният контрол да получава информация от сателита и да изпраща команди или важни ъпдейти на софтуера. Най-често използваната система е радиокуминкационна, при нея информацията е пренесена от радиовълни излъчени от наземна станция. Този вид системи изискват мощни захранвания и са изключително неефективни в сравнение с лазерните системи за комуникация. Освен това при изграждането на наземната станция и избирането на честота на комуникацията, инженерите трябва да се съобразяват с регулаторните органи, които отговарят за разпределението честоти за радиокомуникации. За разлика от радио комуникациите при лазерната комуникация не се изисква толкова мощност, за жалост този вид комуникация е все още в експериментална фаза. При лазерната комуникация проблемите са породени от трудното насочване на лазера към получателя, тъй като и разлика от половин градус при насочването на сателита ще окаже разлика от километри на земята.

Следващата важна система за един сателит е захранващата система. Всеки сателит разполага с матрица от слънчеви панели, които захранват батериите на сателита. Зареждането става чрез контролер, който балансира зареждането и разреждането на отделните клетки. Захранването се разделя на няколко отделни буса, всеки захранващ отделна подсистема. И всеки захранващ бус покрива напреженията нужни за захранване на подсистемата, както и сензори за следене на консумацията и температурата на отделни подсистеми.

Системата за мониторинг (така наречената телеметрия), е системата от сензори, които следят ключови характеристики на сателита. Пример за такива сензори са температурни сензори, магнитометри, жироскопи, акселерометри, слънчеви сензори и други. Повечето от сензорите са универсални и се използват в всички сателити, но в зависимост от мисията или вида на товара се добавят още видове сензори комбинирани така, че да предоставят необходимата за оперирането полетна информация. За да може информацията от тези сензори обаче да бъде запазена и обработена идва така наречената система за обработка на данни (data handling system).

Системата за обработка на данни се състои от няколко различни шини и комуникационни протоколи, както и система за съхранение на данните. Примери за комуникационни протоколи често използване в сателитите са I2C, SPI, UART, CAN, RS-422, USB. С цел уеднаквяване повечето сателити използват pc-104 connector където разполагат комуникационните и захранващите шини. И последната част от системата за обработка на данните е съхранението. Най-често използваните методи за дългосрочно съхранение на данните са специални радиационно защитени SD карти.

Системата за навигиране е това което позволява на сателита да променя както своята позиция така и височината на полета над земната повърхност. Чрез множеството акселерометри, магнитометри и жироскопи, се събира информация за позицията и ротацията на сателита. След което компютърната система изчислява как трябва да се промени позицията на сателита и системата за задвижване променя посоката.

Системите за задвижване може да се химически, електрически, магнитни, соларни платна или жироскопи. Повечето сателити са направени по такъв начин, че позицията на сателита за оптималното облъчване на слънчевите панели да съвпада с оптималната позиция за изпълняване на мисията на сателита, и оптимална позиция за комуникиране с наземната станция. На по-малките сателити поради липсата на пространство имат нужда от завъртане за да се постигне оптималното зареждане, или оптимално изпълнение на мисията.

Последния модул от един сателит е неговата мисия. Под мисия (payload) се разбира полезният товар, качен с цел изпълняването на дадена задача (мисия) докато е в космоса. Мисиите може да са с комерсиална или изследователска цел, или и двете едновременно. В комерсиалните среди компании като Endurosat разработват готови наносателити по поръчка. Като единственото което клиента определя в тези случаи е точно мисията, заедно с нейните спецификации. За пример може да дадем различните телекомуникационни компании, които използват CubeSat стандарта при разработване на техните сателити с цел по-евтиното тестване на нови технологии. Пример за такъв сателит е [OUFTI-1](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=OUFTI-1&action=edit&redlink=1), разработен от университета в Лиеж в Белгия. Изстрелян през 2016 неговата главна цел е била тестване на иновации в радиокомуникациите и тестването на различни комуникационни протоколи. Друг вид са сателити за заснемане на снимки. Пример за такъв е [COMPASS-1](https://en.wikipedia.org/wiki/COMPASS-1) разработен от университета по приложни науки в Аахен. Неговата главна цел е представянето на сателити направен от така наречените готови компоненти (off the shelf components) и заснемането на снимки на земята. Той е изстрелян през 2008 и е още активен. Другия вид научни сателити изстреляни с цел проучване на даден феномен също се срещат, пример за такъв сателит е [GeneSat-1](https://en.wikipedia.org/wiki/GeneSat-1). Неговата главна мисия е проучване в сферата на биологията. Той е изстрелян през 2006, като при създаването му участват НАСА и университета в Санта Клара калифорния. През 2010 е върнат на земята и главната му мисия се счита за успешна. И последния тип сателити са тестови. Най-често те са разработвани от университети с цел тестването на технологии и подобрения в сферата на наносателитите. Пример за такъв сателит е CP6 разработен от Калифорнииският Политехнически университет. Изстрелян на 19 май 2009 главната му мисия е демонстрация на технологията на сателита.

**Бордови компютър MARTSat**

**1.1 Цел и обосновка на дипломната работа**

**Целта на тази дипломна работа е да се разработи функционален прототип на бордови компютър за управление на наносателит във формата Cubesat 1U и 3U. Избрана е хибридна схема съставена от едноплатков компютър Raspberry pi4 и 2 броя fpga. Заданието и спецификата на сателитната авионика предполагат да се разработят и периферните системи за захранване и комуникация с наземната станция. Целта на проекта е да се заложи основата за разработка на наносателит отговарящ на стандарта CubeSat, използвайки готови разработени компоненти и оптимизирани за монтаж на 3U спътник. С тази работа се цели и да се постави началото на първият ученически Cubesat в България TUESAT -1 и да се предизвика по-широк интерес към този вид електроника. Малките спътници във формата Cubesat са идеален учебен пример на сложно интегрирано съчетание на различни ембедед системи, телекомуникационни модули, захранване и както и съответното им софтуерно осигуряване разработвани да оперират във сложните условия на околоземното космическо пространство.**

**1.2 Критерий за проектиране на бордови компютър за наносателит във формата Cubesat**

Архитектурата на авиониката на малките космически апарати се дели на два вида интегрирана или разделена. При разделното изпълнение всяка подсистема на космическият апарат се разглежда като независим елемент със хардуерен компонент изпълняващ функциите си независимо и обменяйки данни чрез стандартизирани протоколи и интерфеис. При интегрираната имаме споделена функционалност от един основен елемент на авиониката.

Основен критерии при първоначалното проектиране на бордовата авионика за Cubesat e мисията или набора от апаратура на борда и съответно редица параметри осигуряващи изпълнението на полетното задание. На кратко и последователно ще изложим някои от основните.

* + 1. **Орбита**

В масовият случай най-често се използват ниски или средни околоземни орбити, като при тях сателитите оперират от 200 до около 1200 km. Поради ниската височина тези орбити осигуряват ниско закъснение на сигнала 0,05 s при предаване на данни към земята. От друга страна по-ниските орбити предявяват по-високи изисквания към комуникационния модул поради по-малкото време за пребиваване в зоната на видимост на наземната приемо-предавателна станция. Избора на орбита е пряка функция от поставената мисия и конкретното полетно задание. Именно след формулирането на полетното задание започва да се определя и облика на бъдещия сателит и авиониката и нейното функционално разделение.

При разработката на бъдещия сателит TUESSat-1 залагаме мултифункционална модулна платформа оптимизирана във формата 3U. Модулността предполага възможност за модернизирана на базовата разработка за работа със множество и различни мисии. За това се залага работа на ниски околоземни орбити LEO.

* + 1. **Продължителност на полета**

Продължителността на полета зависи от полетното задание и самата конструкция на спътника. Най-често влияние оказва излагането на космическата радиация. Това въвежда различни критерии и възможни изпълнения на спътниците с кратки мисии и тези изискващи продължителен престой на околоземна орбита. Спътниците с кратки полетни задания най-често се изработват от достъпни и относително евтини компоненти с общо предназначение. Тези изискващи продължителен престои и или ще изпълняват мисии на средни и геостанционарни орбити се изработват с радиационно устойчиви компоненти и при тях се прилагат допълнителни мерки за предпазване от външните космически въздействия. Така например комерсиален телекомуникационен спътник разположен на геостанционарна орбита може да има срок на експлоатация от 10 до 20 години и да струва милиони долари.

* + 1. **Изисквания към електрическото захранване**

Доколкото захранването чрез слънчеви батерии е ограничено, а консумацията на ток е в пряка зависимост от вида на мисията. Така например спътник за дистанционно заснемане на земята изразходва повече електрически ток поради процесинга, компресията и предаването на изображението на земята. Така основен показател за ефективността на бордовия компютър е ниската енергийна консумация. Именно този критерии е причината за все по широкото използване на FPGA компоненти. FPGA интегралните схеми се отличават по консумацията на ток, но и трите вида технологично не са изложени на резки пикове на електрическо потребление. Допълнително Flash FPGA са неволативни и не изискват високо потребление на ток при конфигурирането им. При бордовата електроника най-голямата консумация на електричество се пада на процесора и захранването на останалите елементи е относително ниско.

**1.2.4 Маса-габаритни показатели**

Като всеки компонент на даден спътник по-ниската маса на авиониката би позволила по-голям полезен товар за изпълняваната мисия. От друга страна критерият за изпълнение на наносателити във формата на Cubesat изисква изпълнението на габаритите да се вписва в конструкцията най-често в платка с размери под 95 x 95 mm. В последните 10 години в повечето индустриални и комерсиално предлагани компютри специално създадени за използване в спътници cubesat се прилага шина PC 104 която осигурява удобно стакване на различните компоненти на авиониката по между и се превръща в индустриален стандарт за повечето от фирмите предлагащи готови модули. 

* + 1. **Изчислителна мощност**

1. Всеки сателит дали комерсиален, или учебен има нужда от бордови компютър. Той контролира сателита, и отговоря за пренасянето на данните от полезният товар, и телеметрията до земята. Компютъра е мозъка на един сателит и като такъв трябва да има достатъчна изчислителна мощност за да контролира всичките му функции, без да превишава своите възможности. В различните варианти на бордови компютър изчислителната мощ варира. При компютрите използващи микроконтролери изчислителната мощност и работната памет е малка, но за сметка на това и консумацията на ток, теглото е размера са малки. Другият вариант при наносателитите е едноплтаков компютър, при него изчислителната мощ е по-голяма, но и теглото и консумацията на ток също. Този вид системи варират много една от друга, но във всички случаи предлагат повече памет и изчислителна мощ от микроконтролерите. Другият вариант е програмните логически платки, те предлагат най-високата изчислителна мощност спрямо другите варианти, и са с най-малкото тегло и най-малката консумация на ток, но за разлика от другите варианти програмируемите платки са скъпи, трудни за програмиране и лимитирани от към функционалността си. За това много системи комбинират две от горепосочените системи с цел позволяването на максимална изчислителна мощ с най-ниско потребление на енергия и най-висока радиационна устойчивост.
   * 1. **Изисквания към интерфейса**

Изискванията към интерфейса на всеки бордови компютър е да се осигури работа с различни модули и блокове, периферийни устройства и други контролери. Обикновено се използват няколко интерфейса които са масови стандарти за микроконтролерите и общи да разработчиците на ембедед системи.

* + 1. Надеждност
    2. Статична и динамична памет
    3. Отговаряне на изискванията за космически полет и тестова програма
    4. Изисквания към сензорите

Сензорите се делят на три основни групи. Първата група се състои от сензори имащи критично важно и непосредствено отношение към дадената мисия изпълнявана от спътника. Втората група сензори събират информация за моментното състояние на отделните системи и авионика, като на пример напрежението в захранващия модул, големината на тока, температурата в различни зони и др. Третата група се отнася са сензори и датчици които имат отношение към навигацията, височината на полета над земната повърхност, както и към пространственото позициониране важно за работата на слънчевите батерии.

**1.2.11 Полетна история**

При избор на готов компютър за бъдещ проект често се взима под внимание дали бордовата авионика или отделни елементи и или електронни компоненти вече са летели в космоса при предишни мисии. Този показател се прилага при готовите комерсиални OBC. За разработваният по този проект бордови сателитен компютър е важно част от използваните компоненти да имат полетна история или надеждно изпитани в условия максимално близки до усломията на работа в близкия касмос.

**Базирайки се на тези основни критерии ще се формира облика на предлаганият бордови компютър означен MARTISAT 1-3u.1**

При разработката на наносателит във формата на CubeSat освен множеството критeрии описани по горе трябва да се има предвид средата в която ще се оперира. Първото предизвикателство пред конструкцията и бордовата апаратура на един спътник е още при изстрелването. Вибрациите и ударните натоварвания при отделянето на отделните степени на ракетите носители поставят основните изисквания към якостните свойства на носещата структура и монтираната електроника.

Космическата среда представя други предизвикателства пред конструкторите на бордовите системи. Спътниците на ниска околоземна орбита работят в гравитационното поле на земята слънцето и луната. В безтегловност, без възможност за конвенционален топлобмен създава неблагоприятни термални условия на работа. При тези условия смазочните материали се изпаряват и често могат да се отложат върху различните оптически сензори нарушавайки тяхната работа.

Спътника може да едновременно да се нагрее от едната страна (обърната към слънцето) и да бъде с много ниска температура от другата страна. За да се осигурят по-благоприятни условия се монтират термопроводници между най чувствителните елементи и осигуряват разсейването чрез излъчване. Отделно самата електроника отделя голямо количество топлина.

1. **Особености на космическата среда**

Конкретните условия на работа зависят от мисията и избраната орбита около земята. За CubeSat летящи на ниски околоземни орбити едно от основните предизвикателства е радиационните пояси на Ван Ален, както и така наречената Южноатлантическа Аномалия. Ниската орбита подлага спътника и на съпротивление от най-горните разредени слоеве на околоземната атмосфера и въздействие от слънчевия вятър.

Често бордовите компютри и тяхната архитектура се определя от целите и задачите на изпълняваната от спътника мисия. Продължителността на мисията също е важен критерии. Повечето комерсиални и университетски научни мисии използващи спътници във формата CubeSat имат планирана продължителност на полета от над 1-1.5 до 3 години. Колкото по продължителна е мисията, толкова по-високи са изискванията към повишаване на надеждността на авиониката. Съответно се изисква повишаването на радиационната устойчивост и това става главен критерий при избора на компоненти и архитектура на хардуера и софтуера.

**2.1 Радиационни ефекти в космоса**

1. Обзор и анализ на съществуващи бордови компютри за Cubesat

Типове архитектури и решения за бордови компютри за Cubesat

Първо ще разгледаме бордовия компютър на Endurosat, единствената българската компания произвеждаща комерсиални сателити. Те предлагат два типа бордови компютъра. Двата се еднакви като компютърна конфигурация, но по-скъпият съдържа GNSS система. Тази система GNSS (**Global Navigation Satellite System**) се отнася до всяко сателитно съзвездие, което предоставя услуги за глобално позициониране, навигация и синхронизиране. По другите фактори те са напълно еднакви. И двата компютъра разполагат с **ARM Cortex M7** процесора, и 2MB програмна памет и 1MB SRAM (static random access memory). Компютъра също така разполага с слот за SD карта, както и часовник в реално време (RTC). Разполагат и с конектор pc-104 позволяващ на множеството от комуникационни протоколи да работят с останалата част от сателита. Компютрите разполагат с следните бусове 4x RS-485, 2x RS-422, 2x UART, 2x I2C, SPI, USB, CAN, позволяващи комуникация с всеки възможен сензор на пазара. Теглото на модула излиза на 180г. , за модула с GNSS и 130г. за модула без тази система. Компютрите разполагат със система за промяна на базовата честота с цел пестене на енергия. GNSS приемника е **NovAtel OEM 719** и позволява връзка със системата **Galileo E1**.

Второ ще разгледаме KRYTEN-M3 произведен от Clyde Spac. Изтрелян за пръв път в космоса през 2014. Изработен за 5годишни мисии на така наречената LEO орбита (low earth orbit) нискоземна орбита. Разполага с GPS модул на подобреният (KRYTEN-M3 +) модела. Модела разполага с система Smart fusion 2 SoC и ARM Cortex-M3 процесор, работещ на 50 MHz. Разполага с 16MB MRAM (). Разполата и д 256kB + 8MB памет за boot програмата. Компютъра е с работен температурен диапазон от -40°C до +80°C и радиационна издръжливост от 20kRAD. Разполага с 2 I2C буса, SPI бус с 7 chip select линии, CAN, QSPI, GPIO логика на 3.3V, RS422 и дебъгинг пинове. Консумира между 0.4W и 1W. Цялата система тежи общо 61.9 грама.

TRISKEL бордови компютри от CubeSat shop. Разполага с ARM Cortex-M7 и 2MB флаш памет и 1.4MB вградена памет. Модула идва и с два слота за SD карти. И разполага с три RS422 full-duplex шини, UART за външна комуникация, две CAN шини, две I2C шини и SPI шина. Още на линия са 15 GPIO пинове и 8 пина свързани аналогов към дигитален конвертор. Разполага и с 6 пина с PWM през H-bridge. Бордовия компютър идва с вграден часовник в реално време, с автономно захранване в случай на временна загуба на ток към модула. Както и с конектори свързани с следните шини: CAN, четири GPIO, UART за дебъгинг и JTAG конектор.

Системата разполага с интегрирани температурни сензори и сензори за ток и консумация на ток. Бордовия компютър има оперативен температурен диапазон от -40 ºC до +85 ºC. Той идва с вградена комуникационна система. Тя е халф дуплекс с между 1.2 и 19.2kbps комуникации. Комуникационната система разполага със същият процесор и памет като бордовия компютър. Както и с UHF радио, система watchdog и хардуерен рестарт. Системата разполага с кодиране и декодиране с код на Рийд-Соломон, базиран на полето на Галоа, както и криптографкси възможности.

1. Разработка на бордови компютър MARTSAT -1

Разработката на сателита се разделя на пет етапа с цел изпълняването на дипломната работа навреме нейната тема е сведена до работа планирана в първи и втори етап, а останалите 3 етапа ще бъдат осъществени в последствие, след предаването и защитата на дипломната работа. Целта на етап 1 е подбор на сензорна архитектура, и подбор на елементи за изграждане на бордови компютър. През етап едно трябва да се направи проучване върху вече съществуващи сателити и техните компютърни системи и системите за генериране запазване и получаване на телеметрия. След достигането на решение по горните точки трябва да се направи избор на работни платки (development boards), и сензори и да се купят, както и да се напише базов код за тестване на системата от сензори и запазването на техните стойности в някакъв вид дългосрочна памет. След изработването на така наречения flat-sat (термин обозначаваш изработката на подсистемите на сателита върху бредборд с временни връзки), и написването на базов код с цел тестването на бордовия компютър и системата от сензори, се преминава към етап 2 на разработката. Етап 2 се състои от съставянето на система за захранване (тази система да бъде подобренна в бъдещи етапи), както и система за комуникция с наземна станция (тази система ще бъде изцяло с тестово предназначение и ще бъде заменена със система отговаряща на всички изисквания и стандарти за работа в космоса на по-късен етап на работа). Освен разработката на тези две системи ще бъде разработена и печатна платка заместваща кабелните връзки между отделните компоненти на компютърната и телеметричната подсистеми, но все още ще се използват работните платки на включените в тези подсистеми модули. Като през този етап ще бъдат и написани подобрения по кода отговарящ за събирането и съхраняването на телеметрията на сателита, както и код позволяващ на сателита да комуникира с наземната станция. И последно през етап 2 на разработката ще бъде разработена временна наземна станция, с цел тестване на комуникация, както и тестване на системите на сателита през безжична комуникация, с цел изпитването на сателита в обстановка подобна на реална работна среда на сателит. Етап 3 на разработката представлява интегрирането на всички контролери, сензори, бусове, конектори на една печатна платка. Третия етап включва и подобряването на системата за захранване, идеята е да бъде разработена модуларна система с няколко вида захранване, както повечето комерсиални сателити, с цел гъвкавост относно полезният товар. Този етап включва и разработката на финалната система за комуникация с наземната станция, и системата за контрол на височината и посоката на сателита, както и пълното интегриране на всички сензори от системата за мониторинг върху печатните платки на другите подсистеми. Тук ще се напише и кода за насочване на сателита с цел оптимизирането на генерацията на ток или оптимизирането на комуникацията, както и кода за контрол на системите с цел оптимизиране на консумацията на тока. Четвъртият етап на разработка на сателита включва създаването на полезният товар интегрирането му заедно с останалите системи в външната структура на сателита. В този етап ще се напише и кода за контрол и мониторинг на полезният товар, както и ще се интегрират системите за предпазване на сателита при изстрелване. И в последният пети етап ще се извършат финалните тестова с цел проверка на годността на сателита. Както и ще бъде поставена финалната обвивка с цел защита на сателита и цялата система ще бъде подготвена за потенциално изстрелване.

Като част от първият етап сме длъжни да разгледаме вариантите за създаването на бордови компютър, както и да обосновем нашият избор. В увода разгледахме 4 потенциални основи на един бордови компютър, а именно: микроконтролер, микрокомпютър, програмируема логическа матрица или хибриден модел между няколко от споменатите варианта. За целта на нашата дипломна работа ще използваме хибриден модел между микрокомпютър и програмируема логическа матрица. При този тип комбинацията, ролята на матриците е да подобряват радиационната защита и да осигурява така наречената акселерация. Тази акселерация представлява извършването на паралелни изчисления, за част от мощността, която би използвал микрокомпютър. Причината за тази ефективност е начина по който матриците работят. При тях алгоритъмът на програмата променя вътрешният хардуера на матрицата, което позволява за високо ниво на компютация с ниско потребление на ток. Освен това възможността за разделянето на матрицата на отделни сектори и имплементирането на отделни алгоритми за всеки сектор позволява не само паралелното изчисление, но и оптимизирането на отделните алгоритми за различните дейности, които може да се изискват от бордовият компютър. При този вид архитектура използването на микрокомпютър е поради лимита на възможностите на матриците. Тъй като алгоритмите за програмируемите матрици променят вътрешният им хардуер, лимита на функционалността е поставен от физическият размер и броят на клетките в матрицата. За да избегнем проблемите идващи с тези физически лимитации повечето системи съдържащи програмируеми логически матрици включително и нашата имат или микроконтролери или микрокомпютри. В нашият случай ще използваме микроконтролер заедно с програмируемите матрици, с цел оптимизирането на системата за мониторинг и контрол над останалите подсистеми. Тъй като идеята зад разработката на този компютър е в бъдеще да бъде интегриран в сателит отговарящ на всички стандарти за изстрелване в космоса, ще имаме нужда от изчислителната мощ, и възможността за паралелно изчисление и контрол на програмируемата матрица, заедно в комбинация с микрокомпютър тъй като той ни предлага универсалност и леснота за програмиране. Тази комбинация трябва да бъде достатъчна за да осигури нужната изчислителна мощ за нашият бордови компютър, без да се компрометизира радиационната устойчивост, размера и теглото на модула. Нашият компютър ще има и модул ца SD карта, с цел осигуряването на дълготрайна неволативна памет, както и пълният набор от сензори нужни за функционирането на сателита на по-късен етап. Тези сензори ще бъдат разпределени през всичките печатни платки и подсистеми в бъдеще, но с цел тестването на компютъра ни, ние ще ги интегрираме по времето на първите 2 етапа на работа по сателита, като в бъдеще тези сензори ще бъдат разпределени на предназначените им места в другите системи на сателита.

3.3 Описание на бусовете и сензорите

В нашата система ще интегрираме следните шини и сензори. Ще разположим температурни сензори, с цел да може да държим сателита на оптимална температура за нашата мисия. Също така ще имаме нужда от акселерометри, жироскопи и магнитометри, за целта ще ползваме така нареченият 9 осев жироскоп, който покрива горепосочените 3 сензора. Тези сензори ще ни трябват с цел позиционирането на сателита, засичането на неговото ускорение и засичането на магнитните пояси на земята, в 3 измерното пространство. Това ни позволява заедно с GPS модула да имаме точна информация за позицията на сателита както и посоката и скоростта с която той се движи. Освен тези сензори ще имаме и нужда от сензори за ток и контролери за зареждане и разреждането на батериите. За да може да комуникираме с тези сензори ще имаме нужда от I2C шина, както и SPI шина за да комуникираме с модула за SD картата, и комуникационният модул. Освен тези 2 ще имплементираме и UART и CAN комуникация за бъдещото развитие на проекта.

3.4 Описание на съставните елементи

* В нашият случай ще комбинираме микрокомпютъра RasperryPI-4 и две работни платки Cmod A7 използващи  Xilinx Artix 7 програмируеми логически матрици. Избора на RaspberryPi-4 е комбинация от удобство и възможност. Той разполага с Broadcom BCM2711, четири ядрен Cortex-A72 (ARM v8 базиран) SoC (system on a chip). Работещ на 1.8Ghz, и разполагащ с 2GB, 4GB или 8GB LPDDR4-3200 SDRAM . В нашият случай ще използваме версията с 4GB, тъй като повече RAM на този етап не е нужна, като естествено при нужда смяната е възможна. Същото така SoC-то разполага с слот за micro SD карта, което комбинирано с външния модул за SD карта води да подсигуряване срещу повреда на данните, с правилната имплементация на софтуера. Освен това платката предлага и 40 пина за вход/изход през които може да се интегрират всички нужни шини за комуникация с останалите модули. Както и предлага Bluetooth, Gigabit Ethernet, USB 3.0 и USB 2.0, които макар и неизползвани в сегашният етап на разработка са достъпни при нужда в бъдеще. Cmod A7 платката, интегрираща Xilinx Artix 7 програмируема логическа матрица, разполага с конфигурируем вътрешен осцилатор. Модела разполага с 512KB SRAM 8 битов бус с време за достъп от 8 нано секунди, както и 4MB quad-spi flash памет. Системата идва и с два начина за програмиране единия е JTAG конектор, а другият е USB-UART мост. Както и 44 дигитални входно/изходни пина и 2 аналогови с напрежение от 0 до 3.3V, и пин за захранване на 5V и земя. Сензорите които използваме за измерване на температурата са SEN0527 произведени от DFROBOT този модул е базиран на AHT20 температурен сензор. Работният му диапазон е от -40°C до +85°C, което съвпада идеално с работният диапазон на повечето сателити. Точността на измерване на температурата е ±0.3%, което е достатъчно за нашите цели. Сензора се захранва с напрежение от 2V до 5V, използва I2C интерфейс и тежи 6.44г. Следващият сензор който ще разгледаме е LSM9DS1, по специфично работната платка на Adafruit. Сензора представлява комбинация от 3 осев линеен акселерометър, 3 осев жироскоп, и 3 осев гаусов магнитометър. Модула се захранват с напреоене от 2V до 3.3V и разполага както с I2C така и с SPI комуникационен интерфейс. Модула разполага с интегриран температурен сензор и температурен работен диапазон от -40°C до +85°C. Също така разполага и с интелигентен винаги включен режим с ниска консумация на ток от 1.9 mA, както и програмируеми прекъсвания. Следващият сензор е INA219 сензор за ток. Сензора е с работен температурен диапазон от -40°C до +85°C. Сензора е с точност от ±1%, и диапазон на входно напрежение от 0V до 26V, като максималният ток 3.2A. Логиката се захранва с от 3V до 5V. Самият сензор разполага с I2C интерфейс. Следващият модул е Y-GPS6MV2 това е нашият GPS модул, неговият работен температурен диапазон е от -40°C до +85°C. Захранва се с напрежение от 3.3V до 6V. Модула използва UART комуникационен протокол, но нивото на логиката е 3.3V, което означава че ще имаме нужда от така нареченият конвертор на напрежение на логика. Модула разполага с режим на ниска консумация на ток, има точност на позициониране от 2.5 метра. Следващият модул който ще разгледаме е модула за настояще време DS1307. Работният му температурен диапазон е от -40°C до +85°C. Модула разполага с собствена литиева батерия, позволяваща неговата работа дори и при нарушено външно захранване. Модула използва I2C комуникационен интерфейс. Захранва се с 5V и разполага с режим на ниска консумация на ток. Следващият модул е waveshare solar power manager. Този модул позволява зареждането на литиево йонни батерии (3.7V) от соларни панели. Входното му напрежение е от 6V до 24V. Подържа изход на 5V и на 3.3V през регулатор. Напрежението на зареждане е 4.2V ±1% и има защита от презареждане и от разреждане. Оперативния температурен диапазон на този модул е -40°C до +85°C. Последният модул който ще разгледаме е RFM952 lora radio transceive платка произведена от adafruit. Модула се захранва с от 3V до 5V, и разполага с интегриран логически шифтър, което позволява на модула да работи на 3.3V или 5V логика. Модула използва SPI комуникационен протокол. Модула подържа от +5 до +20 dBm и до 100 mW мощност на комуникацията, тя се контролира чрез софтуера. Модула има 100mA пик при изходна комуникация на +20dBm и около 30mA при активно слушане за комуникация.

SoC представлява [интегрална схема](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0) включваща в себе си всичките основни компоненти на един компютър – [процесор](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D0%BE%D1%80), [оперативна памет](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82), контролери за различни външни интерфейси. \*\*\*

3.5 Апаратна реализация и изпитание на флатсат

3.6 Интеграция на сензорите и сателитните системи

3.7 План за бъдещо усъвършенстване

4. Системата за захранване

…

* 1. Архитектура на системата за захранване

…

* 1. Избор на слънчеви батерии
  2. Избор на Li батерии
  3. Създаване на Батери пак и контролери
  4. Интеграция на системата с бородовия компютър

1. Комуникации

Кратко описание на описание на комуникационният модул и други субсистеми

….

5 Интеграция на спътника TUESSat.01 Възможни решения Бъдеща работа и бъдещо развитие

6.Заключение

7. Съдържание

Списък с използваната литература

Списък с използваните съкращения и английски акроними и съкращения

Списък с използваните илюстраций

Списък със използваните таблици

Приложения 1.2.3…4…20…

Списък с използвана литеретура

1. State-of-the-Art Small Spacecraft Technology Small Spacecraft Systems Virtual Institute Ames Research Center, Moffett Field, California, 2023 www.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/03/soa-2023.pdf?emrc=8ad1a1
2. A Guaide to CubeSat Mission and Bus design, cloned version 2023 Frances Zhu <https://pressbooks-dev.oer.hawaii.edu/epet302/#main>