

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космической технологии

Лисогор Валерий Андреевич

«Разработка и проектирование электронных компонентов космических  
аппаратов»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В074600 – Космическая техника и технологии

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой  
«Электроники,  
телекоммуникации и  
космических технологий»

 Таштай Е.  
«27» 05 2022 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Разработка и проектирование электронных компонентов  
космических аппаратов»

по специальности 5В074600 – Космическая техника и технологии

Выполнил



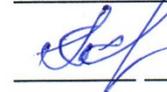
Лисогор Валерий Андреевич

Рецензент  
Доктор PhD, заведующий  
кафедрой Алматинского  
университета энергетики и связи  
имени Г.Даукеева

 Төлендіұлы Санат

" 27 " 05 2022 г.

Научный руководитель  
к.т.н, заведующий кафедрой  
«Электроники,  
телекоммуникации и  
космических технологий»

 Таштай Е.

" 27 " 05 20 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
«Электроники,  
телекоммуникации и космической  
технологий»

  
Таштай Е.  
« 21 » XII 2021 г

**ЗАДАНИЕ**  
на выполнение дипломной работы

*Дипломнику Лисогор Валерию Андреевичу*

**Тема:** «Разработка и проектирование электронных компонентов космических аппаратов».

Утверждена приказом Ректора Университета №489-П/О от «24» декабря 2021 года.

Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2022 г.

Исходные данные к дипломной работе: 1. Требования международных стандартов СТ РК ECSS E-ST - 10C-2011 «Космический инжиниринг. Космические разработки, проектирование. Системное проектирование»; 2. Требования СТ РК ECSS Q-ST - 60C-2011 «Гарантия космической продукции. Электрические и электронные компоненты.» 3. Требования СТ РК ECSS E-ST-20C-2012 «Космический инжиниринг. Электронные и электрические компоненты» 4. Требования СТ РК ECSS Q-20-07A -2012 "Гарантия космической продукции. Гарантия качества для испытательных центров”;

**Перечень вопросов** подлежащих изучить и представить в дипломной работе:

- а) Обзор требования международных стандартов к электрическим и электронным компонентам БКУ КА.
- б) Силовые полупроводниковые приборы для электронных систем КА
- в) Методы минимизации энергопотребления микроэлектронных устройств для КА
- г) Особенности воздействия радиации на интегральные микросхемы КА

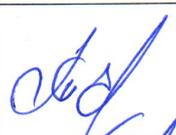
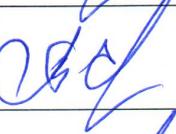
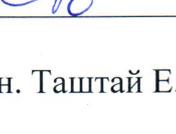
## ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Обзор требования международных стандартов к электрическим и электронным компонентам БКУ КА.	1.09.2021-31.12.2021	Выполнено
2. Силовые полупроводниковые приборы для электронных систем КА	1.02.2022-15.02.2022	Выполнено
3. Методы минимизации энергопотребления микроэлектронных устройств для КА	16.02.2022-31.03.2022	Выполнено
4. Анализ расчёта и особенностей воздействия радиации на интегральные микросхемы КА	1.04.2022-15.04.2022	Выполнено
5. Написание дипломной работы	15.04.2022-30.04.2022	Выполнено

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Обзор требования международных стандартов к электрическим и электронным компонентам БКУ КА.	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е.	27.05.2022	
Силовые полупроводниковые приборы для электронных систем КА	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е.	27.05.2022	
Методы минимизации энергопотребления микроэлектронных устройств для КА	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е.	27.05.2022	
Анализ особенностей воздействия радиации на интегральные микросхемы КА	Заведующий кафедрой «ЭТиКТ», к.т.н. Таштай Е.	27.05.2022	
Нормоконтролер	Магистр технических наук, лектор - Ибекеев С.	26.05.2022	

Научный руководитель  к.т.н. Таштай Е.

Задание принял к исполнению обучающийся  Лисогор В.А.

« 14 » \_\_\_\_\_ 2021 г.

## АННОТАЦИЯ

Бұл тезис бес тараудан тұрады. Бірінші тарауда КА БКУ электрлік және электрондық компоненттеріне халықаралық стандарттардың талаптары келтірілген, әрі қарайғы әзірлемелері оларға тікелей байланысты. Екінші тарау: ға электронды жүйелеріне арналған күштік жартылай өткізгіш аспаптар. Үшінші тарау ға арналған микроэлектрондық құрылғылардың энергия тұтынуын азайту әдістері. Төртінші тарау радиацияның интегралды схемаларға әсер ету ерекшеліктерін талдау.

## АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа состоит из пяти глав. В первой главе требования международных стандартов к электрическим и электронным компонентам БКУ КА, от которых напрямую зависят дальнейшие разработки. Вторая глава: силовые полупроводниковые приборы для электронных систем КА. Третья глава: методы минимизации энергопотребления микроэлектронных устройств для КА. Четвёртая глава: Анализ особенностей воздействия радиации на интегральные микросхемы КА.

## ANNOTATION

This thesis consists of five chapters. In the first chapter, the requirements of international standards for the electrical and electronic components of the spacecraft control system, on which further developments directly depend. The second chapter: power semiconductor devices for electronic spacecraft systems. The third chapter methods of minimizing the energy consumption of microelectronic devices for spacecraft. The fourth chapter is an analysis of the features of the effects of radiation on integrated circuits AS.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Обзор требований международных стандартов к электрическим и электронным компонентам БКУ КА	11
1.1 Требования международных стандартов к электрическим и электронным компонентам БКУ КА.	11
1.3 Силовые полупроводниковые приборы для электронных систем КА	14
1.3.1 Основные принципы использования силовых приборов	14
1.3.2 Базовые технологии, используемые в силовых приборах	16
1.3.3 Преимущества использования полевых GaN-транзисторов в непилотируемых космических аппаратах	18
1.3.4 Характеристики GaN транзисторов	19
2 Методы минимизации энергопотребления микроэлектронных устройств	21
2.1 Основные методы минимизации энергопотребления.	23
3 Анализ особенностей воздействия радиации на интегральные микросхемы КА	29
3.1 Расчётно-экспериментальный метод оценки устойчивости БРЭ к радиации	34
Заключение	38
Список использованных сокращений	39
Список использованной литературы	40

## ВВЕДЕНИЕ

Первый полет в космос космонавта Юрия Гагарина не только дал толчок в развитии пилотируемых полетов в космос, но и проложил новую дорогу для создания сложнейших беспилотных космических систем дистанционного зондирования земли, телекоммуникационных, навигационных и научно-исследовательских изобретений, которые в свою очередь пустили в ход модернизацию разработки полупроводниковых приборов и интегральных микросхем для дальнейшего усовершенствования в области космической электроники.

Актуальностью темы является в условиях РК развитие национальной базы электронных компонентов Космических Аппаратов, так как является актуальной задачей дипломной работы.

Целью дипломной работы является исследование и проектирование электронных компонентов космических аппаратов.

В представленной дипломной работе были поставлены и решены следующие задачи:

- исследование существующих методов разработки;
- анализ особенностей воздействия радиации на интегральные микросхемы КА;
- методы минимизации энергопотребления микроэлектронных устройств для КА;
- Анализ проектирования электронных компонентов космических аппаратов.

В структуре работы можно выделить несколько составных частей: введение, три главы заключение.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи дипломной работы.

Первая глава раскрывает применяемые стандарты для проектирования и разработки электронных компонентов для КА, а также рассказывает о уже имеющихся и разрабатываемых полупроводниковых приборах.

Во второй главе исследуются методы для снижения энергопотребления микроэлектронных устройств.

В третьей главе работы, показаны методы и расчёты влияния радиации на электронные компоненты космического аппарата.

В заключении делаются выводы о проделанной работе.

В исследовании были использованы следующие методы: контент-анализ, сравнительное сравнение, методы анализа и синтеза теоретических источников.

В результате получается, что работа с этими методами позволит решить поставленную задачу и реализовать поставленные цели дипломной работы.

# 1 ОБЗОР ТРЕБОВАНИЙ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ И ЭЛЕКТРОННЫМ КОМПОНЕНТАМ БКУ КА

## 1.1 Требования международных стандартов к электрическим и электронным компонентам БКУ КА

Космическая микроэлектроника создана для обеспечения высокой надёжности ЭКБ (электронная компонентная база) куда в свою очередь входят микросхемы, датчики, дискретные полупроводниковые приборы, системами на кристалле (СНК), гироскопами, системами в корпусе (СВК) радиоэлектронных компонентов ракетно-космической техники.

Существует два вида применяемой ЭКБ. Коммерческая или индустриальная, другими словами, промышленная или двойного назначения. Электронная компонентная база космического назначения (ЭКБКН). Данная база содержит довольно много принципиальных особенностей [1-16], эти материалы надо рассмотреть подробнее. Первоначально это:

### 1. Высокие требования к надёжности характеристик:

Безотказность, ресурс длительной работоспособности, максимальные сроки эксплуатации и т. д. А именно активные компоненты ЭКБ величина безотказности, которая должна быть не меньше  $10^{-9}$  -  $10^{-10}$ , так же для пассивных  $10^{-11}$  -  $10^{-12}$ .

2. Широкая и разная номенклатура электронной компонентной базы, представленная разнообразием задач, которые решают соответствующие РЭА КН. По информации открытых интернет-источников отчёты NASA, а также других ведомств в космической деятельности, к ним же относятся – ESCJES координационный центр Европейского космического агентства по приёму ЭКБ для космических программ. Только функционально полный список только ИМС составляет от 1000 – что в свою очередь для конкретных «простым» проектам типа «Челнок», до 10 000 для крупных исследовательски-космических программ таких как марсианская экспедиция, лунная миссия и тому подобных.

3. Максимально низкое количество потребления и естественно объёмы производства, какие невозможно отнести к серийному производству. А более того они относятся к мелкосерийному производству, а более того даже оригинальному или единичному.

Весьма часто требуемое количество ИС или дискретных ППП (полупроводниковых приборов) для настоящего космического проекта не превышают 10-30 шт. с учётом ЗИПа (запасного комитета ЭКБ для проверок текущего ремонта по регламенту).

3. Увеличенный диапазон температуры и работы хранения, чаще всего к ЭКБ КН предъявляются условие для обеспечения рабочего режима в диапазоне низких температур от  $-70^{\circ}$  до  $-60^{\circ}$  до высоких от  $+125^{\circ}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ . Взять отдельные типы космических аппаратов и направлений применения, микроэлектронные компоненты должны работать в условиях открытого

космического пространства, это часто применяется к приборам вакуумной электроники.

4. Гарантированное предложение необходимо для длительного (от 15 лет и более) времени безотказной работы под воздействием космических факторов а так же эффектов как ионизации, так и электромагнетизма со стороны как земли так и космоса, а так же изменения температуры в окружающей среде, в условиях максимально экстремальных, периодических и одиночных перегрузок (при ускорении), механического воздействия от удара посторонними объектами, невесомости, влажности, воздействия "космического типа" и многие другие экстремальные факторы, которые не всегда наблюдаются даже в военных структурах для аналогичных функциональных целей номенклатуры и электронной компонентной базе.

5. Высокая устойчивость к воздействию различных видов разнообразного излучения – как в открытых пространствах, где должны работать космические обитатели и беспилотные объекты, так и в условиях воздействия остаточного излучения от космических объектов на борту (в нарушение соответствующих международных договоров) переносных ядерных реакторов автономных электростанций.

По официальным данным, эти изделия должны выдерживать положительную дозу облучения не менее 50 крад, а специальные космические аппараты (военные спутники связи, навигации, радиоинформации и т. д.) - теоретически, в соответствии с военной доктриной ряда государств-членов НАТО, даже в условиях ядерного взрыва, которые потенциальный враг (или террорист) может использовать для выведения из строя космических объектов. Для обеспечения работоспособности заданного времени (от 20 минут до 20 часов).

Следует подчеркнуть, что помимо устойчивости "земного" оборудования к обычным радиоактивным воздействиям, к изделиям космической микроэлектроники предъявляется ряд дополнительных специфических требований для обеспечения устойчивости к другим специфическим экзотическим вещам типы дестабилизирующих факторов, которые возникают только в условиях космического пространства и практически не встречаются на Земле:

Из приведенных выше основных особенностей ЭКБ КН тенденции и характеристики развития космической микроэлектроники сильно отличаются от так называемой "Дорожные карты"

Только гражданская (промышленная) микроэлектроника, но и в ряде важных они значительно превосходят требования предъявляемые к - так называемым "военным" микроэлектронным изделиям.

Как известно, тенденция постоянного снижения значения стандартов проектирования БИС в бытовой и промышленной электронике в основном связана с тем, что возможное можно использовать как можно больше из половины. Проводящая пластина уже достигла 500 - 2000 долларов. Связано это с таким понятием как "результат закона Мура", согласно которому удвоение

площади кристалла чипа, по крайней мере, возможно при удалении пригодных для использования кристаллов с одной и той же пластины.

Мелкосерийное производство характерно для космической электронной продукции со всеми последующими результатами.

ECSS-Q-ST-60C Rev.2  
21 October 2013



## Space product assurance

**Electrical, electronic and electromechanical (EEE) components**

ECSS Secretariat  
ESA-ESTEC  
Requirements & Standards Division  
Noordwijk, The Netherlands

Рисунок 1.1 – настоящие международные стандарты ECSS-Q-ST-60-13C – Commercial electrical, electronic, and electromechanical (EEE) components

В дополнение к функциональным и эксплуатационным требованиям, предъявляемым к космическому аппарату, существуют определенные требования, такие как:

- Степень автономности при выполнении летных операций;
- Возможность оперативного вмешательства в процесс управления БКУ со стороны НКУ.

- Бортовая система управления обычно оснащена 4 режимами работы:  
Управление от НКУ;
- Автономное управление, то есть управление всеми системами в соответствии с внутренними программами БКУ;
- В смешанном режиме часть управляющего воздействия формируется и отправляется на плату НКУ, часть выполняется, формируя БКУ;
- Управление с участием экипажа;

Первый режим используется во время первой активации режима в полете, особенно во время важных полетных операций, второй - вне поля зрения станции слежения НКУ, если полетная операция уже работала, третий - чаще, чем первые два, поскольку он обладает максимальной гибкостью.

Во время полета БКУ взаимодействует с НКУ по каналам связи, передаются сигналы команд, установки и программного обеспечения, телефонная, телеграфная, телевизионная и телеметрическая информация, радиомониторинг траектории и корректировка времени, необходимые для работы схемы управления полетом.

Для эксплуатации и управления системой были разработаны международные требования и стандарты БКУ КА к электрическим и электронным компонентам.

## **1.3 СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ КА**

### **1.3.1 Основные принципы использования силовых приборов**

Наряду с цифровыми и аналоговыми ИМС (интегральная микросхема) в электронных блоках КА довольно широко используются и силовые полупроводниковые приборы [16].

Для начала необходимо рассмотреть блоки управления бортовых устройств Космического Аппарата, более известные как контрольно-электронные блоки управления. В ЭБУ (электронные блоки управления) входной сигнал, полученный с датчика, перестраивается в электрический сигнал. Далее для получения нужных управляющих сигналов, данный сигнал обрабатывается приборами обработки сигналов. В итоге блок обработки сигнала подает координирующие сигналы на регулируемый блок, реализационное устройство, для получения нужного результата.

В ЭБУ делаются вычисления и измерения, в ЭБУ существует постоянная необходимость использования микроконтроллеров, и датчиков силовых полупроводниковых приборов. На схеме ниже можете обратить внимание как выглядит общая схема ЭБУ.

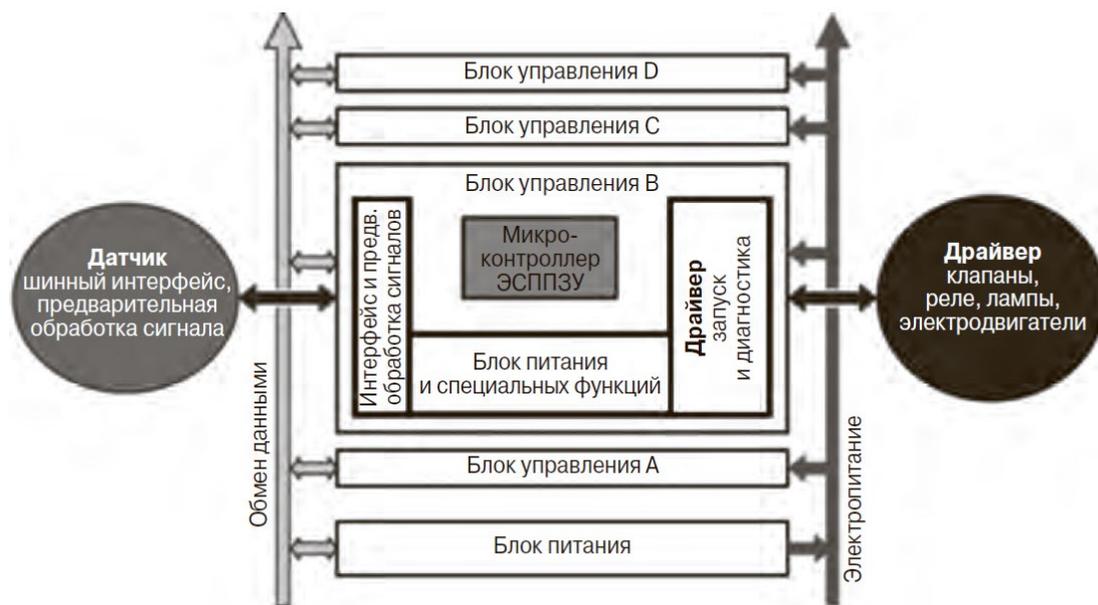


Рисунок 1.2 – Общая блок-схема ЭБУ (электронного блока управления)

Разделив ЭБУ (электронный блок управления) на функциональные блоки, можно выделить блок управления электропитанием, интерфейс переноса данных, память микроконтроллер с периферийными устройствами (микроконтроллер с периферийными устройствами и т. д.), устройства пост обработки сигналов, например, Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и реализационные устройства.

Силовые полупроводниковые приборы применяются, главным образом, в реализационных устройствах и в источниках питания.

В настоящее время чаще стараются электронные приборы заменять на электромеханические, к примеру, реле. Требования к надежности (защита от короткого замыкания и перегрузки) отдельных компонентов еще более жесткие, поскольку они должны работать с более сложными устройствами.

Диагностические возможности устройств должны облегчить устранение неполадок и улучшить их ремонтпригодность в случае непредвиденного сбоя. Поэтому микросхема управления и стабилизации электронного блока управления часто подключается к распределенной сети. Они могут иметь очень простую структуру или, в крайних случаях, могут выступать в качестве очень сложного контроллера.

В связи с этим термин "силовое полупроводниковое устройство" может варьироваться в зависимости от типа рассматриваемого устройства, поскольку коммутируемая мощность может варьироваться на несколько порядков в зависимости от области применения.

Типы отечественных силовых полупроводников, их номенклатура и основные конструктивно технологические решения детально рассмотрены в [16].

Чтобы классифицировать силовые полупроводниковые устройства по группам, рассмотрите характеристики устройств как значение интеграции (сложности) [16].

Если вы добавите схему защиты к МОП-транзистору или IGBT, в простейшем случае вы получите что называется TEMPFET (MOSFET с защитой от возможного перегрева). СПУ (Силовые полупроводниковые устройства) в дополнение с интеллектуальными устройствами управления состоянием общепринято называть SmartFET (Интеллектуальные МОП транзисторы).

Затем можно выбрать PROFET (защищенный полевой транзистор), или клавишу "вверх" (расположена между источником питания и плюсом нагрузки, а 2-й выход нагрузки подключен к земле), и HITFET (высоко интегрированный полевой транзистор), или нижнюю клавишу.

Если вы объедините небольшое количество ИПТ (интеллектуальных полевых транзисторов) и добавите дополнительные функции, вы получите интеллектуальный силовой чип (PIC. от английского smart power integrated circuit). В эту группу входят: такие как многоканальные ключи, полу-мостовые и мостовые микросхемы (полу мостовые микросхемы состоят из 2 ключей, постоянно соединенных последовательно между положительной и отрицательными шинами от источника питания), микросхемы источника питания, и микросхемы для линейных драйверов.

Более высокий уровень интегрирования приводит к появлению так называемых чипов power system (системных микросхем). Они специально изготовлены и оптимизированы по стоимости для конкретных задач (например, в автомобильной электронике – для руководства подушками безопасности или системой тормозов "ABS"). Высочайший уровень интеграции достигается за счет использования встроенного устройства питания. На самом деле это силовые полупроводниковые системы, выполненные как на одном кристалле, или нескольких кристаллах в одном случае).

### **1.3.2 Базовые технологии используемые в силовых приборах**

Многие технологии используются в области силовой электроники. Это базовые биполярные, КМОП, дополнительные МОП-транзисторы (КМОП) и силовые МОП-транзисторы (ДМОП), и их комбинации [16].

На рисунке (3) показана связь между этими технологиями и конкретной группой продуктов.

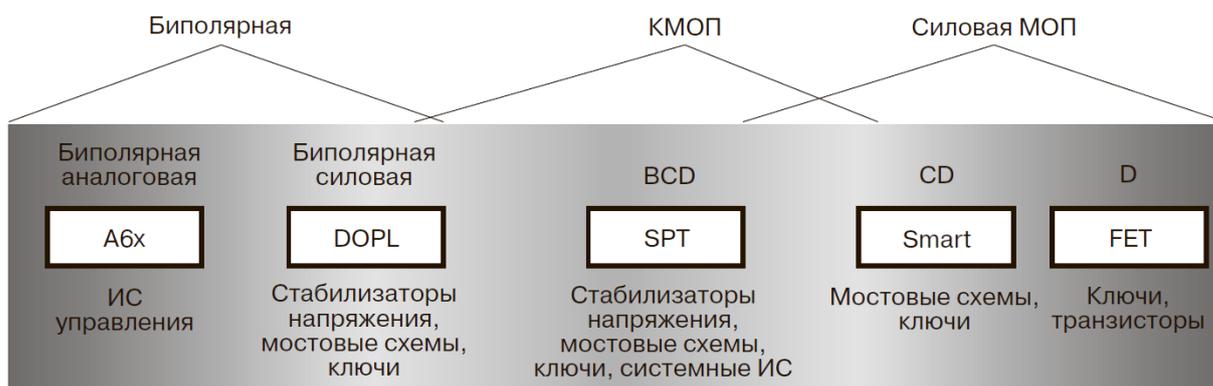


Рисунок 1.3 – Обзорная схема технологий и группы продукции [16]

КМОП – технология. В технологии КМОП (комплементарная МОП) используется только p- и n-канальные МОП-транзисторы, резисторы и конденсаторы. Транзисторы изготавливаются в карманах p-типа и n-типа с затворами из поликристаллического кремния. Слои поликремния могут быть использованы в качестве резисторов. Пластина конденсатора представляет собой слой поликремния и подложки из сплава, а диэлектрик представляет собой оксидный слой. Технология КМОП оптимизирована для реализации логических функций. В принципе, его можно использовать для создания устройств с низким напряжением питания (5В, 3В, 1,8В), что позволяет использовать небольшие компоненты с высокой степенью интеграции. Аналоговые функции также могут быть реализованы в КМОП-транзисторах. Компания Infineon имеет множество технических процессов (C5, C6, ... c11) для производства логических схем, некоторые из которых используются при изготовлении микросхем ЭСППЗУ или флэш-памяти.

Биполярная технология. В биполярной технологии в качестве активных элементов используются биполярные транзисторы n-p-n и p-n-p. Поликремневые вентили не требуются для чисто биполярных структур. В результате такие технологические процессы требуют небольшого количества операций и поэтому очень экономичны. Степень интеграции зависит от технического класса пробивного напряжения. Класс напряжения зависит от размера встроенного транзистора. DOPL — это биполярная технология, разработанная компанией Infineon.

Технология ДМОП (DMOS). ДМОП, или DMOS–транзисторы (транзисторы с двойным рассеянием MOS-МОП), представляют собой транзисторы, оптимизированные для коммутации с высоким током и предназначенные для работы при высоких напряжениях. Поскольку этот транзистор имеет длинный канал, можно получить высокое напряжение пробоя. Конструктивно он состоит из ячеек, соединенных параллельно для получения высокого тока (низкое сопротивление в разомкнутом состоянии) и высокой плотности энергии. Поскольку структура ДМОП толще, чем логическая структура под слоем оксида затвора, можно создать более надежное устройство.

Компания Infineon предлагает ряд технологий ДМОП, оптимизированных для отдельных устройств, включая технологии PFET и SFET.

Если эти базовые технологии объединить в логическом порядке, то доступны следующие интересные варианты, которые предназначены для конкретного применения из-за определенных характеристик.

Технология БиКМОП. Технология БиКМОП сочетает в себе биполярные и КМОП-компоненты. Комбинация этих компонентов позволяет реализовать различные аналоговые функции, такие как прецизионный источник опорного напряжения. Infineon предлагает ряд технологий БиКМОП, оптимизированных для использования в радиочастотных устройствах.

Технология CD. Технология CD сочетает в себе компоненты КМОП и ДМОП. Это позволяет одновременно объединять логические функции, высокую мощность и большой ток в 1 микросхему. Примером технологии CD Infineon является интеллектуальная технология.

Технология VCD. VCD технология — это технология, которая сочетает в себе биполярные, КМОП и ДМОП-компоненты. С их помощью можно изготавливать детали различных классов напряжения. Структура КМОП позволяет получить плотное расположение логических элементов. Таким образом, например, можно интегрировать микроконтроллер. Комбинированное использование биполярных и КМОП-структур позволяет создавать прецизионные схемы опорного напряжения. Транзистор ДМОП может переключаться между высоким током и высоким напряжением (до 20А и 80V).

В некоторых случаях для достижения высокой степени интеграции в низковольтной логической схеме используется множество субмикронных оксидных слоев (субмикронная логика). Также возможно создать несколько резисторов Слои поликремния. В передовой технологии VCD используется более 25 фотолитографий (фотошаблонов). Однако это будет дорого по сравнению с простыми технологиями, такими как КМОП.

### **1.3.3 Преимущества использования полевых GaN-транзисторов в непилотируемых космических аппаратах**

Кремневые МОП транзисторы достаточно длительное время доминировали в космической промышленности и надежного оборудования, как оказалось они стремительно приближаются к теоретическим пределам возможностей. По тому как, чтобы продвигаться вперед, следует нужно нацелить интерес на ПП с широкой запрещенной зоной, а конкретно на устройства которое сделано на новейшей технологии из нитрида галлия (GAN). Эти транзисторы пользуются большим преимуществом, таких как размеры, эффективность, вес, в сравнении с обычными кремниевыми моп транзисторами. К тому же GaN-транзисторы можно характеризовать небольшим физическим промежутком скажем между истоком и стоком и довольно наименьшим размером кристалла, наименьшим сопротивлением проходящего канала в его открытом обычном состоянии, выходит, следовательно, меньшими потерями на проводимость.

Кристаллы меньшего размера также помогают уменьшить выходную емкость, сводя к минимуму паразитную индуктивность из-за особенностей расположения транзисторов, тем самым уменьшая потери при переключении. Паразиты также являются распространенной проблемой.



Рисунок 1.4 полевой GaN-транзистор

За счет одновременного уменьшения потерь на переключение и проводимость можно в значительной степени поднять эффективность данных транзисторов и встроенных туда устройств, к примеру тех же преобразователей. Подняв выше КПД преобразователя, тем самым будут ниже потери, в результате чего потребляется меньше энергии так сказать тепла. Что позволит снизить площадь и упростить решение теплоотдачи, тем самым снижая вес всего готового блока питания. Всё же особенностью транзистора GaN является то, скажем в отличие от старых кремниевых МОП транзисторов, напряжение на затворе источника не сможет превысить 6 В без возможного риска пробоя. Скажем данная особенность очень большая проблема. Фактически, в большинстве случаев стойких к радиации вентиляльных драйверов кремниевых МОП-транзисторов, представленных сегодня на предложенном рынке, предлагают выходное напряжение выше 10 В. Однако столь запредельное напряжение может привести к выходу из строя транзистор GaN. Исходя из этого, разработка таких драйверов буквально проложит путь в космос для этих транзисторов, ускоряя использование транзисторов, изготовленных с использованием прогрессивной технологии GaN, в таких системах как космические аппараты и приложения, требующих очень высокой надежности.

### 1.3.4 Характеристики gап-транзисторов.

Транзисторы построенные на основе GAN-(нитрида галлия) дают большие возможности делая на самом деле довольно привлекательным выходом для применения в составе систем питания космических аппаратов, в промежутке которых большой уровень устойчивости к ИИ, отсутствие паразитизма р-п диодов, увеличенная скорость переключения и эффективность, а самое главное, малый размер кристаллов. Это помогает повысить эффективность и уменьшить габаритные размеры энергосистемы. К примеру, если взять от кремниевые МОП-

транзисторы, то полевые транзисторы GaN не применяют слои оксида затвора, и за счёт этого гамма-лучи не образуют ловушек (дырок) и которые могут образовываться в слоях оксида затвора, типичном для кремниевых транзисторов. К тому же полевые GaN-транзисторы как известно также хорошо работают в тестовых проверках со случайными воздействиями сверхпрочных частиц (англ. Эффект одного события, SEE).

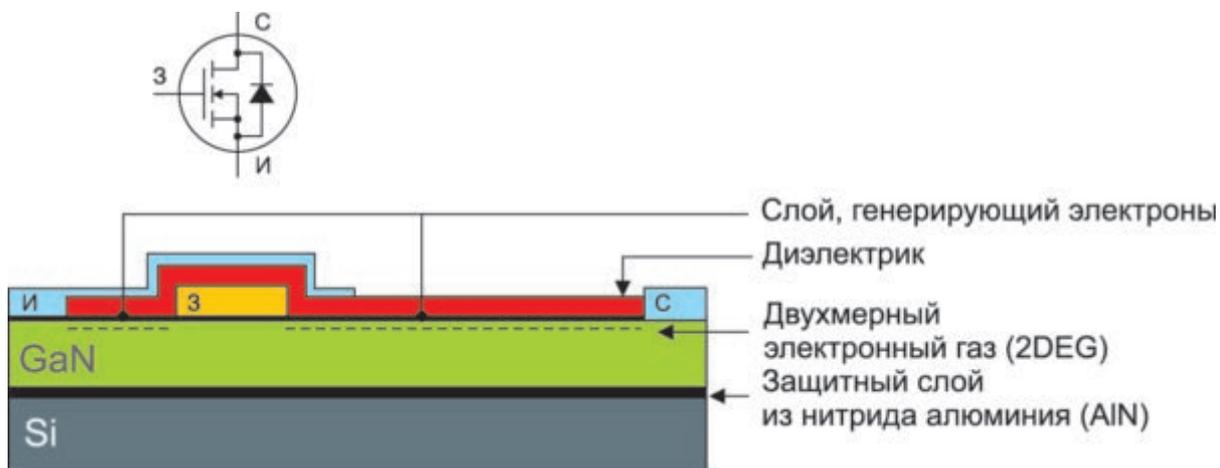


Рисунок 1.5 Структура мощного GaN-транзистора, предложенного компанией EPC

Данный транзистор GaN представляет собой полупроводниковое устройство со своей вертикальной структурной организацией, в котором ток протекает, горизонтально проходя через двумерный электронный газ объема нитрида галлия. Как выше упоминалось, нитрид галлия является широкополосным полупроводником. К сравнению если взять транзисторы с кремнием расстояние меж стоком и источником в нем скажем теоретически есть возможность быть в 10-раз меньше. Скажем для идентичного канального резистора в открытом положении  $R_{DS(ON)}$ , ширина канала возможна стать значительно уже, отчасти именно потому, что он намного короче по длине.

По своему строению можно сказать, что полевые GaN-транзисторы не нуждаются обратных диодов, так как они используют механизмы обратной тока проводимости, которые выполняют свои функции. К примеру, в разнице от кремниевых транзисторов (металлоксидных полупроводниковых полевых транзисторов, МОП-транзисторов), не наблюдается накопления не главных носителей и, что соответственно, нет потерь на возрождение обратного диода. Эти транзисторы проводятся в противоположном направлении, используя те же каналы, что и прямые, минуя эктопаразитов. На символе (рис.5) Поскольку функция выполнена, она отображается в соответствии с традицией. Падение напряжения при обратной проводимости (источник-сток) куда больше, которого падение на диоде, но время затраченное на восстановления очень короткое, всего 5-15 наносекунд, поэтому общие произошедшие потери сведены к минимуму, и, при такой необходимости, дополнительно диод Шоттки установленный

параллельно может быть установлен в любое время, в дополнение к транзистору *gap*. Довольно небольшого диода небольшой мощности. Для получения дополнительной информации о функциональности данного типа транзисторов см. [18].

## 2 МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Стремительный прогресс в развитии новых технологий производства полупроводниковых интегральных схем, особенно переход к субмикронным и нано-электронным технологиям, ставит новые задачи перед проектированием микроэлектронных устройств, реализуемых на основе этих технологий. Одной из таких задач является разработка специальных технических решений и проектирование устройств с низким энергопотреблением.

Разработчики электронных устройств, являющиеся потребителями продукции Intel, довольны расширением функциональности и увеличением тактовой частоты, а на платах, поставляемых микропроцессором Intel 8086, можно повысить производительность устройства, информация о сбое в работе отдельных блоков стала поступать от некоторых потребителей. Разработчики компании не получали таких сигналов от потребителей микропроцессоров Intel8085.

В то же время в отделе разработок компании создается следующее поколение микропроцессоров Intel286, характеристики которых позволили решить проблемы, возникшие в результате внедрения разработчиками комплекса конструктивных технологий и схемотехнических решений для вычислительных и управляющих систем на его основе. Если значения частоты и потребляемой мощности микропроцессора Intel286 увеличатся на 25-30% по сравнению с запланированными аналогичными параметрами 8086 всего на 10-15%, то значения удельной мощности  $P_{WS}$  увеличатся.

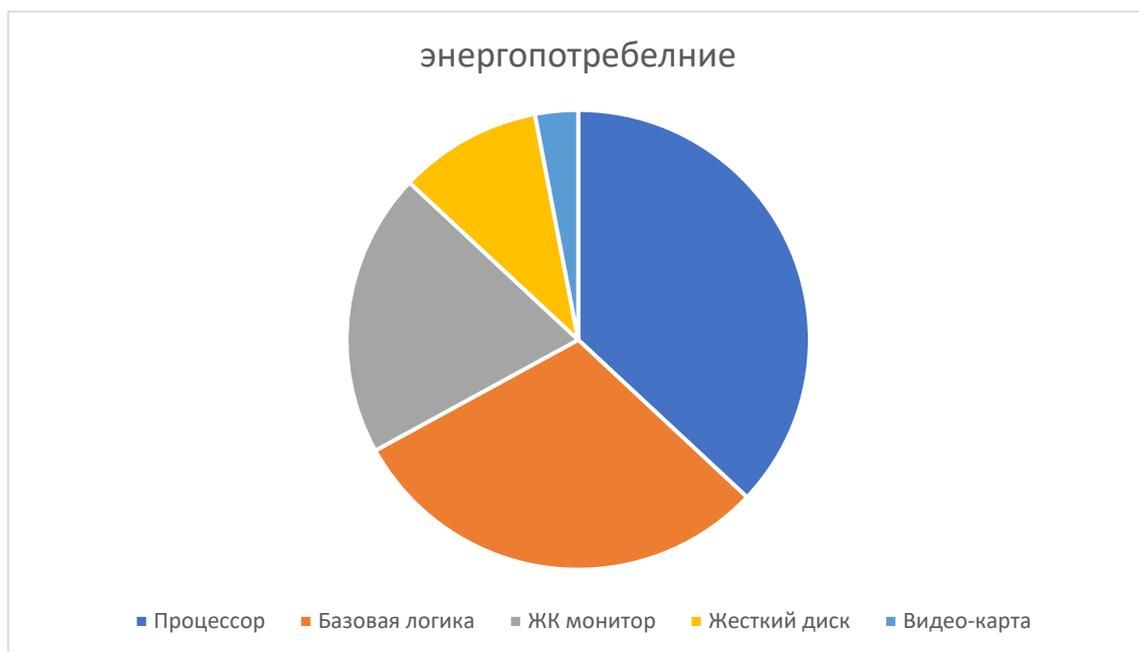


Рисунок 2.1. Типовое распределение энергопотребления ПК

За последние два десятилетия технология CMOS заняла лидирующие позиции на рынке полупроводниковых интегральных схем. Успешная реализация всех функциональных модулей вычислительной системы с использованием этой технологии привела к высоко интегрированному функционально завершенному на одном кристалле, что значительно увеличило функциональную насыщенность кристаллов, снизило массогабаритные параметры конечного продукта, повысило производительность и снизило энергопотребление. В то же время, несмотря на значительное увеличение количества транзисторов и увеличение функциональности, энергопотребление нового процессора не увеличилось. Таким образом, процессор мобильного компьютера потребляет около 35 Вт, а настольная система потребляет около 65 Вт и около 80 Вт.

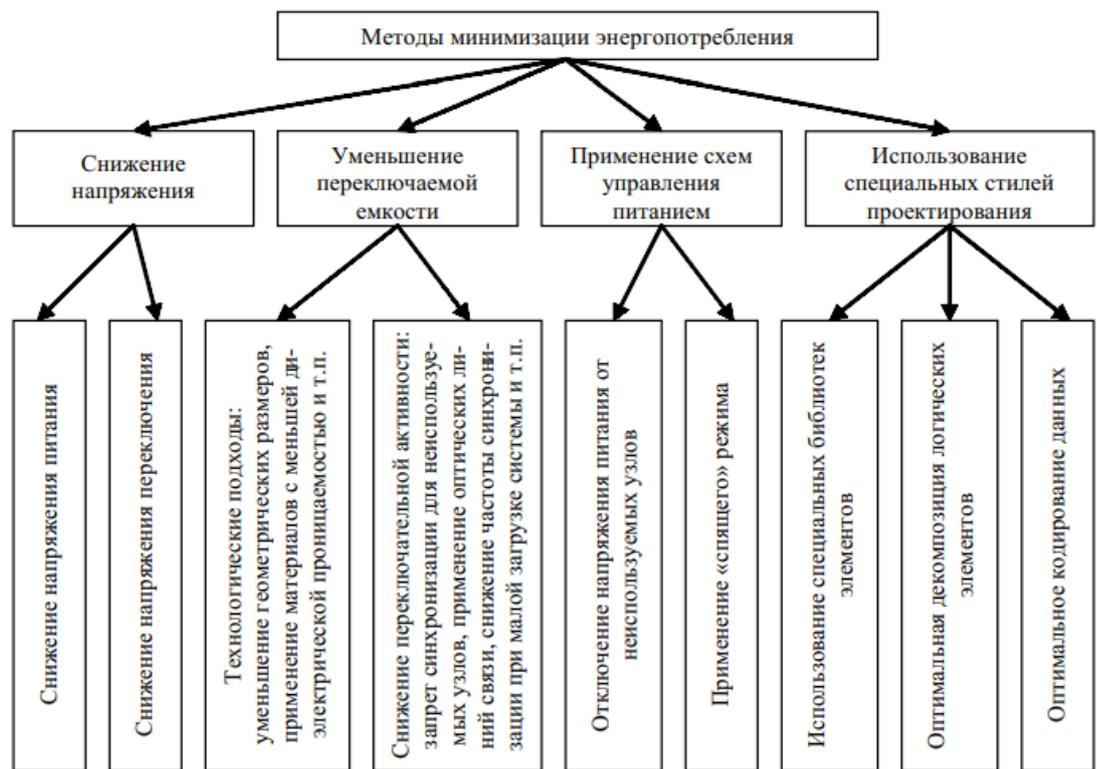


Рисунок 2.2 Классификация основных методов минимизации потребления энергии при проектировании КМОП БИС

## 2.1 Основные методы минимизации энергопотребления.

И так, рассмотрим основные методы минимизации энергопотребления.

При использовании традиционной КМОП-технологии основная доля мощности, рассеиваемой микросхемами, является динамической. Уменьшение любого параметра – значения напряжения источника питания, напряжения переключения, емкости аккумулятора или частоты переключения приводит к

уменьшению количества потребляемой мощности. Традиционно наибольший интерес ученых был направлен на снижение напряжения питания. Это связано с тем, что в большинстве КМОП-схем напряжение питания равно переключаемому напряжению. Существует зависимость 2-го порядка между динамическим рассеиванием мощности и напряжением питания ВИС. Кроме того, при падении напряжения питания статическая мощность также временно падает.

В совершенствовании микросхем СБИС можно выделить, по крайней мере, три основных направления. Первый — это минимизация энергопотребления микросхем устройств связи и портативных компьютерных систем путем модернизации на системном уровне. Большинство разработок сосредоточены на снижении напряжения питания и тактовой частоты за счет одновременного распараллеливания обработки информации. В то же время создание системы основано на КМОП-схемах и, следовательно, на существующей технической базе. Некоторый успех в этом направлении связан с использованием чисто системных решений, особенно альтернативных систем синхронизации, таких как самосинхронизация. Прирост мощности достигается в основном за счет улучшения архитектуры самой системы.

Второе направление можно охарактеризовать как схемотехнику. Использование функций САПР СБИС для сокращения пути передачи информации в цифровой СБИС может снизить энергопотребление за счет уменьшения тактовой частоты. Снижение энергопотребления достигается, в частности, за счет использования сквозных ключей и других схемных технологий. Этот подход также основан в первую очередь на традиционной технологии CMOS.

Третье направление - разработка новых технологических процессов и маршрутов изготовления СБИС.

Технология CMOS остается наиболее перспективной для нового поколения систем навигации и связи, включая вычислительные системы в качестве основного компонента. Это направление считается основным и включает в себя совершенствование процессов фотолитографии для уменьшения топологических размеров и разработку методов снижения пороговых напряжений для n- и p-канальных МОП-транзисторов.

Снижение энергопотребления — это сложная, комплексная и многогранная проблема. Ее решение зависит от прогресса в каждой из этих трех областей. Все они используют известную зависимость потребляемой мощности от эффективных значений напряжения питания ( $E$ ), тактовой частоты ( $f$ ) и паразитной емкости ( $C$ ) в качестве теоретической основы:

$$P = kC\Delta UEf + I_c E + I_{ym} E \quad (2.1)$$

Где  $k$ -это фактор переключательной активности элементов;  
 $C$ -эффективное значение паразитной емкости логического вентиля;  
 $\Delta U$ -размах логических уровней;  
 $I_c$ -сквозной ток в переходном процессе;

$I_{um}$ -ток утечки в стационарных состояниях.

Хотя контурный путь тесно связан с техническим путем и системным путем, он имеет свои собственные специфические характеристики. Рассмотрим формулу для мощности, потребляемой базовым клапаном типа CMOS.

$$P = kCE^2 + I_cE + I_{ym}E \quad (2.2)$$

Значение коэффициента коммутационной активности  $k$  зависит от конкретного типа системы и имеет значение не более 1. Целью этого технического подхода является снижение значения эффективной емкости и тока утечки МОП транзистора в состоянии покоя. Однако основной компонент энергопотребления является динамическим. Мощность по сквозному току обычно составляет около 30 процентов.

Для относительно небольших субмикронных транзисторов, используемых в цифровых интегральных схемах, любое такое несоответствие в  $U_{пор}$  обратно пропорционально квадрату длины канала с пропорциональным коэффициентом 4-30 мВ/мкм. При коэффициенте 4 мВ/мкм стандартное отклонение  $U_{пор}$  транзистора 4 мВ при 1 мВ м составляет всего 2 мВ. Даже случайно выбранное устройство из 1 триллиона будет иметь сдвиг в значении  $U_{пор}$  всего на 10 мВ. Следовательно, для полного технологического процесса этот коэффициент составляет 4 мВ/микрон. Но здесь сравниваются идентичные устройства, но в реальной цифровой схеме нет идентичных устройств. Например, если вы просто повернете пластину на  $90^\circ$  или  $180^\circ$  из-за анизотропии производственного процесса,  $U_{пор}$  может значительно измениться.

У этого подхода есть 3 недостатка. Прежде всего, это требует фундаментальных изменений в производстве процессов. Кроме того, скорость пропорциональна напряжению питания, поэтому часто имеет смысл питать разные устройства. Здесь все устройства на плате соединены общей коррекцией затвора и, таким образом, имеют одинаковый порог. И, наконец, устройства, которые имеют только очень низкие пороговые напряжения, могут вызывать большие токи утечки, даже если клапан закрыт, что снижает мощность в цепи.

Последние две проблемы решаются путем создания поправок по элементам независимо для каждого устройства. Однако диапазон пороговых напряжений, достигаемых в этом случае, ограничен снизу допуском потенциала затвора и внутреннего потенциала. Другой подход – добавление комплементарной пары транзисторов с большим пороговым напряжением - используется для достижения энергии переключения 1фДж на вентиль при питании 300 В, но пороговое напряжение в этом случае устанавливается не за счет потенциала затвора. Недостатком обоих решений является сложность технического процесса и увеличение стоимости чипа.

Мы предложили так называемую технологию QuadRail, которая позволяет снизить напряжение питания при сохранении стандартного процесса изготовления CMOS. Суть этого уникального подхода, который способен

схематически компенсировать разброс порога МОП, заключается в сглаживании изменения порога МОП на плате, пороговое напряжение транзистора, расположенное в кармане, устанавливается относительно устройства, расположенного на плате, для изменения потенциала кармана.

Методология QuadRail позволяет теоретически снизить напряжение питания до 0,25 В при сохранении стандартного последовательного КМОП-процесса. Результаты моделирования и экспериментальных измерений подтверждают работоспособность такой схемы, снижая энергию переключения до менее чем 40фДж.

Описана так называемая "схема пульсирующего энергопотребления" КМОП, которая снижает рассеивающую способность обычных КМОП примерно в десять раз. На рисунке 2.3 схема управления периодически возбуждает шину питания зубчатым сигналом, действующим между шиной VDD и шиной VSS. Во время падающего фронта импульса мощности паразитная емкость обеспечивает сохранение логического состояния интегральной схемы. Все импульсы имеют амплитуду с интервалами с границами VSS и VDD. В начале сброса р-канальный транзистор выключается, потому что на входе инвертора имеется логический ноль, а напряжения затвора и источника одинаковы. Однако, когда напряжение превышает пороговое значение, n-канальный МОП-транзистор открывается, и выходное состояние инвертора сохраняется. В то же время при нулевом напряжении, подаваемом на вход инвертора, по мере увеличения напряжения на шине питания напряжение между затвором и источником равно нулю, поэтому n-канальный МОП-транзистор всегда замыкается при превышении порогового напряжения  $V_{th}$  на шине питания, канальный транзистор открывается, и напряжение на выходе инвертора следует за напряжением на шине питания. Если два инвертора подключены последовательно, импульс, подаваемый на первый инвертор, проходит через два инвертора и воспроизводится на третьем выходе. Это позволяет определять состояние 2 или более последовательно соединенных логических элементов во время возрастающего края падения. Когда падение напряжения достигает значения VDD, все инверторы могут работать как традиционные КМОП-схемы. Когда падение напряжения уменьшается до логического нуля, состояние поддерживается за счет паразитной емкости.

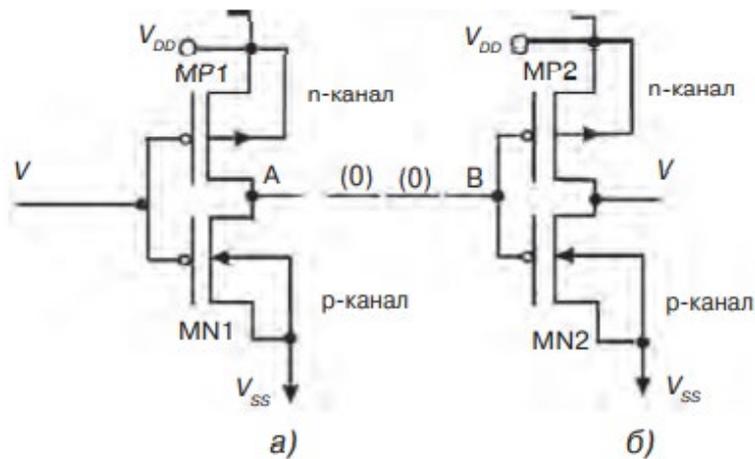


Рисунок 2.3. Принцип работы КМОП инвертора с пульсирующим потреблением мощности

Мы также предлагаем техническое решение, которое может обеспечить небольшую экономию энергии для КМОП-схем при переключении больших емкостных нагрузок рисунок 2.4. Это решение направлено на использование КМОП-схем в узлах, которые работают с большими значениями емкости нагрузки (емкость намного больше, чем емкость затвора наименьших размеров, так же, как и вариант CMOS PPS, он полностью совместим с обычной технологией CMOS, что очень важно для быстрого внедрения.

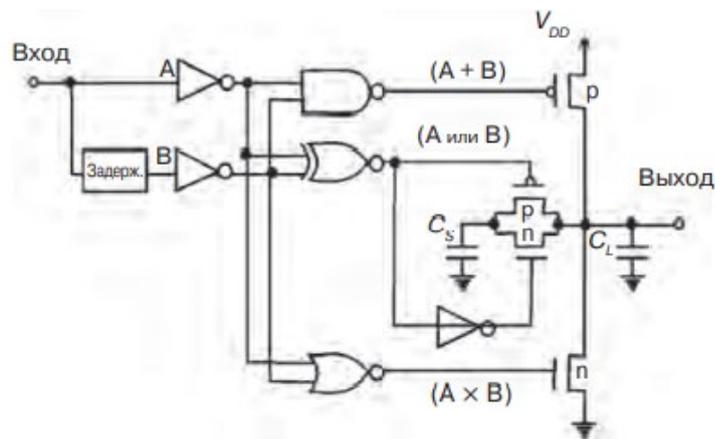


Рисунок 2.4. Схема КМОП инвертора для работы с большими емкостными нагрузками

Рассмотренное схемотехническое решение открывает новые возможности для снижения энергопотребления КМОП СБИС. Общей чертой нового стиля дизайна является то, что техническое решение желающих вписаться в существующую недорогую стандартную КМОП-технология, чтобы избежать больших финансовых затрат на модернизацию производства, разнообразно, но его можно разделить на несколько классов: схемы с импульсным питанием;

накопитель заряда; электронная компенсация для диффузия порогового напряжения.

Стиль дизайна внешнего вида является результатом компромисса между техническими характеристиками (скорость, помехоустойчивость) и экономическими факторами. Среди известных способов снижения энергопотребления схемотехника является наиболее выгодной, поскольку требует только интеллектуальных затрат и компьютерного моделирования. Следует отметить, что снижение порогового напряжения значения приводит к значительному увеличению утечки тока в канале. Если мощность, определяемая током утечки, имеет тот же порядок, что и динамическая мощность, наблюдается максимальное снижение общего энергопотребления. Например, при использовании технологии 0,13 микрона минимальная рассеиваемая мощность наблюдается при  $V_{DD}=1,5$  В,  $V_{th}=0,15$  В и  $T=125^{\circ}\text{C}$ .

Как видно из этого рисунка, самая высокая точность оценки мощности у базового элемента, транзистора, но вклад этого компонента в общий потенциал снижения мощности находится в диапазоне 10-15%. Самая низкая точность прогнозирования оценки является особенностью уровня алгоритма, что вполне объяснимо. Однако на этапе синтеза алгоритма работы сложно функциональных микросхем, если задача оптимизации мощности не поставлена на этапе разработки спецификации, варианты недоступны.

Следующим фактором, влияющим на величину динамической мощности, является частота переключения, поэтому уменьшение также приводит к уменьшению потерь мощности. Однако существуют конфликты с требованиями к производительности. Вы можете использовать различные методы для разрешения этого конфликта. Во-первых, при проектировании новых устройств необходимо отдавать предпочтение решениям, снижающим требования к рабочей частоте функциональных компонентов. Во-вторых, для того, чтобы снизить тактовую частоту, необходимо применить метод параллельного выполнения операций на конвейере. В-третьих, рекомендуется использовать различные схемы запрета синхронизации, как для неиспользуемых функциональных модулей, так и для модулей или компонентов, информация о которых на данный момент не изменилась. Например, при выполнении целочисленных вычислений обычно не используются узлы сопроцессора, предназначенные для вычислений с плавающей запятой, поэтому в это время от них не требуется синхронный импульс.

При проектировании цифровых устройств с минимальным энергопотреблением в качестве оценки обычно используется произведение коммутационной емкости и частоты коммутации. Существует множество решений, включая технические, схемотехнические и алгоритмы. Это позволяет свести к минимуму этот параметр. Во-первых, для узлов большой емкости частота переключения должна быть сведена к минимуму. Для узлов с высокими частотами переключения коммутационная емкость должна быть сведена к минимуму. Во-вторых, преобразование эквивалентной схемы может быть очень эффективно использовано для минимизации операций переключения. Например,

он может быть реализован в семи-входных элементах, шести двух-входных элементах, два четырех-входных элемента и так далее. В-третьих, используются специальные методы кодирования данных, а также возможно минимизировать коммутационную активность во время работы схемы. Например, если вы используете счетчик грея в качестве генератора адресов, вам нужен только переключатель  $2n$  для перебора всех адресов памяти, но вы можете использовать двоичный счетчик для перебора всех адресов памяти.

И, наконец, слабым местом, которое сильно ограничивает возможности повышения производительности КМОП-микропроцессоров и "систем на кристалле", является синхронная схема. Импульс синхронизации должен достигать всех узлов цифрового устройства одновременно. Однако на микросхеме BIS длина линии синхронизации увеличивается, что приводит к увеличению сопротивления и емкости. Следовательно, высокая рабочая частота, высокое сопротивление и высокая емкость линии связи могут потреблять до 50% общей мощности в современных синхронных схемах BIS. Одним из решений является замена металлических проводников оптическими линиями передачи с тактовыми импульсами на чипе.

### **3. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ КА**

Можно начать с того, что при работе Интегральных схем в космическом аппарате могут происходить сбои и отказы в работе, обусловленные радиационным фоном.

Первые серьезные научные и экспериментальные исследования по проблеме радиационной стойкости электронных устройств военного и космического назначения были начаты в середине 60-х годов. государственных и меж-секторальных планов. В результате в СССР была создана номенклатура функционально завершенных радиационно-стойких изделий ВПК "радио-электроника", насчитывающая более тысячи типовых выводов микросхем и электрических устройств. Эти советские микроэлектронные изделия практически не уступают по радиационной стойкости микросхемам лучших зарубежных фирм, а в некоторых случаях и не уступают. Обоснованность развития исследований в области проектирования и производства радиационно-стойких интегральных схем обусловлена очевидным

Ван Аллен обнаружил только внутренний радиационный пояс, расположенный на высоте 3-12 тысяч км над поверхностью Земли. Вскоре советские ученые Вернов и Чудаков обнаружили внешний радиационный пояс на высоте 18-57 тыс. км. Тем не менее, радиационный пояс вокруг Земли называется поясом Ван Аллена.

В 1958 году 31 января, Соединенные Штаты запустили в космос свой первый спутник Explorer-1. Поскольку были установлены счетчики Гейгера,

собранный информация привела к открытию радиационного пояса земли Ван Аллена. Космические аппараты и спутники, движущиеся на высоте более 2000 км, неизбежно будут подвержены влиянию пояса Ван Аллена.

Сильное излучение может привести к повреждению солнечных панелей, электронных компонентов и измерительных приборов. Разработаны специальные микрочипы для ракет и спутников, изготовленные по технологии "кремний на изоляторе".



Рисунок 3.1 – Радиационные пояса земли

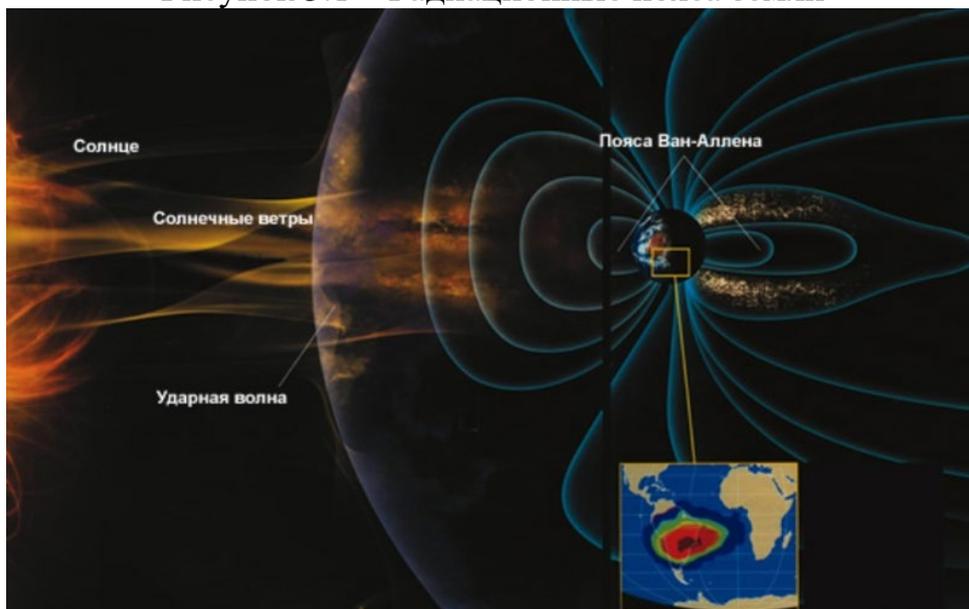


Рисунок 3.2 – Взаимодействие солнечной радиации и РПЗ

Многие факторы влияют на функцию (БРЭА) во время ее работы. Воздействие полей ионизирующего излучения в космическом пространстве особенно важно. Для оценки и прогнозирования стойкости деталей и узлов к различным радиационным воздействиям в космосе становится необходимым использование изделий микроэлектроники на основе ПП в виде деталей космических аппаратов.

Уровень, достигнутый в этой точке, используемый в этом способе, составляет относительно 0,032-0,045 мкм. Все современные тенденции в использовании таких функционально сложных микроэлектронных изделий указывают на то, что по мере уменьшения размера чувствительности интегральных схем к воздействию излучения увеличивается вклад периферийной области и уменьшается величина коммутационного заряда. В то же время происходит также уменьшение эффективной длины сбора заряда, что дает другую компенсацию эффекта снижения сопротивления. Увеличение скорости приводит к тому, что при том же значении тока коммутационный заряд уменьшается. Использование низкого напряжения или энергопотребления потребует меньшего заряда для хранения информации, изменение порогового напряжения будет меньшим, параметрическим также наблюдается положительная тенденция в связи с использованием новых технологических операций (уменьшение толщины структуры, снижение уровня дефектов в сырье, повышение уровня легирования и т. д.). В результате чувствительность характеристик ИС к воздействию излучения несколько снижается.

Значительное уменьшение габаритов приводит к заметному уменьшению коммутационного заряда, поэтому при единичном отказе возникает сложная ситуация. Таким образом, коммутационный заряд элементов современной динамической оперативной памяти можно оценить на уровне, близком к 20-40 пкл при статическом чипе в диапазоне 0,2-0,5 пкл.

В околоземном и межпланетном пространстве космические аппараты подвергаются воздействию различных космических факторов. (ИИ) - Ионизирующее излучение состоит из начальных заряженных частиц (электронов, протонов и заряженных частиц) и вторичных частиц, потока продуктов трансмутации, связанных с первичными частицами. Основное воздействие ИИ на БРЭ вызвано ионизацией и потерей ядерной энергии начальных и последующих частиц в чувствительных объемах устройств ИС. Эти эффекты включают в себя:

Параметрический отказ авионики Авионика получается из-за ухудшения характеристик ИС из-за накопления ИИ;

Отказ ИС и отказ из-за воздействия отдельных высокоэнергетических ядерных частиц.

Существует множество различных факторов, влияющих на функционирование космического аппарата БРЭА, каждый из которых может привести к сбою или отказу всей системы. В целом, следует принимать во внимание все факторы на рабочем месте. При относительно равных временах роль тех или иных отказов во многом зависит от орбиты космического аппарата. В течение того же периода времени, когда космический аппарат находится в зоне Южно-Атлантической аномалии, и когда происходят очень сильные солнечные вспышки, вероятность эффектов, возникающих в результате воздействия отдельных частиц и ядер, значительно возрастает.

Одним из наиболее ярких примеров потери космических аппаратов из-за воздействия передаваемого излучения является известный космический аппарат

" Telestar ", запущенный в 1962 году сразу после испытания мощного ядерного оружия. В результате искусственный пояс Земли, образовавшийся из излучения, значительно увеличил поток электронов почти в несколько раз по размеру. Уже 24.11 некоторые из бюстгальтеров КА начали функционировать неправильно. Ведь в 1963 году работоспособность спутника была утрачена. В то же время уровень радиационной стойкости электронных устройств, определенный по результатам пройденных испытаний, составил 0,6–2 МРАД. Это образовало так называемый искусственный пояс Земли от радиации и стало основной причиной потери 7 космических аппаратов (КА).

Резкое увеличение потока ядерных частиц в этот момент сравнимо с мощной солнечной вспышкой и может привести к поломке или отказу космического аппарата БРЭА КА. Поэтому во время вспышки на солнце, произошедшей в 1994/1/20 году, электронная система стабилизации спутника связи Anik E-1 вышла из строя [19]. Во время солнечных вспышек 2003-10 годов спутник ADEOS-II вышел из строя по этим причинам. Однако отказ происходит даже в относительно умеренной радиационной среде. Например, примером может служить КМОП-ОЗУ NEC64K, которое довольно часто использовалось в электронных узлах космических аппаратов. Аналогичная схема приводила в среднем к 2,4 единичным отказам и 0,76 фиксированным эффектам в неделю наблюдения [20].

Представленные здесь примеры показывают важность учета воздействия радиации при разработке автомобильной электроники, работающей под воздействием космических факторов.

Главными источниками (ИИ) в открытом космосе являются:  
 Электроны и протоны в радиационном поясе Земли;  
 Солнечный космический луч (SCL);  
 Галактический космический луч (GCL).

Уровень радиационного облучения на каждую зону зависит от толщины структурной защиты и параметров траектории. Классификация БРЭА по размещению в космическом аппарате приведена в таблице в установленном соответствии с ГОСТ РВ 20.39.305 [21].

Таблица 3.1 Классификация БРЭА по её размещению внутри КА

Места расположения БРЭА	Толщина защиты БРЭА, мм
БРЭА, находящееся внутри жилых отсеков КА	3-10 мм
БРЭА, находящееся внутри гермоконтейнера	1-2 мм
БРЭА, находящееся вне гермоконтейнера	0,3-1 мм
БРЭА, находящееся на внешней поверхности КА	0,1-0,2 мм

ИИ в космосе при воздействии на (ЭК) вызывает дозовый эффект в результате воздействия электронов и протонов (частиц с низкой энергией до 1 МэВ) и единичный случай радиационного эффекта в результате воздействия тяжелых частиц Галактические Космические Лучи-(ГКЛ) и Солнечные Космические Лучи-(СКЛ) – тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) и протоны (частицы с относительно высокой энергией более 1 МэВ).

Влияние ионизирующего излучения на бортовую радиоэлектронную аппаратуру сводится к двум компонентам:

- сумма совокупной дозы облучения;
- К эффекту заряженных частиц, вызывающих единичный сбой.

Измерение энергии, поглощенной материалом электронных компонентов, представляет собой поглощенную дозу, измеряемую в радах. Поглощаемая доза, при которой происходит отказ ЭЦ, называется максимальной кумулятивной дозой (МКД), которая является основной характеристикой радиационной стойкости. Накопление доз приводит к ухудшению параметров ЭК и полному прекращению функции.

С 1975 года были обнаружены многочисленные эффекты, вызываемые одиночными заряженными частицами в космическом пространстве в электронных изделиях. В настоящее время данные эффекты являются несколькими из основных причин, ограничивающих долговечность электронных устройств на борту космических аппаратов. В первом приближении все последствия единичного сбоя делятся на 2 класса.

Первый – это:

Обратимые (Мягкие) сбои (Soft Errors), включая Single Event Upset -SEU (единственное событие расстроено):

Эта ошибка может быть исправлена программным способом без отключения оборудования.

Переходные сбои в непосредственной работе аналоговых и аналого-цифровых ИС вызваны импульсами тока от попадания тяжелых заряженных частиц или протона в тот или иной активный р-п-переход интегральных схем.

Ко 2-ому классу можно отнести необратимые эффекты и так называемые катастрофические сбои в функционировании электро-радио изделий:

Single event latch up (SEE)- (фиксация одного события -Защелка).

Single event burnout (SEB) (выгорание одного события) - Пробой области источника в мощном металл-оксидном полупроводниковом транзисторе (МОПТ).

SEGR (Разрыв затвора с одним событием) - Пробой диэлектрика затвора МОПТ.

Активный ECS влияет на единичный отказ или катастрофический отказ, поскольку он изготовлен из полупроводникового материала. На рисунке 3.3 показано приблизительное соотношение активных ECS БРЭА к пассивным ECS.

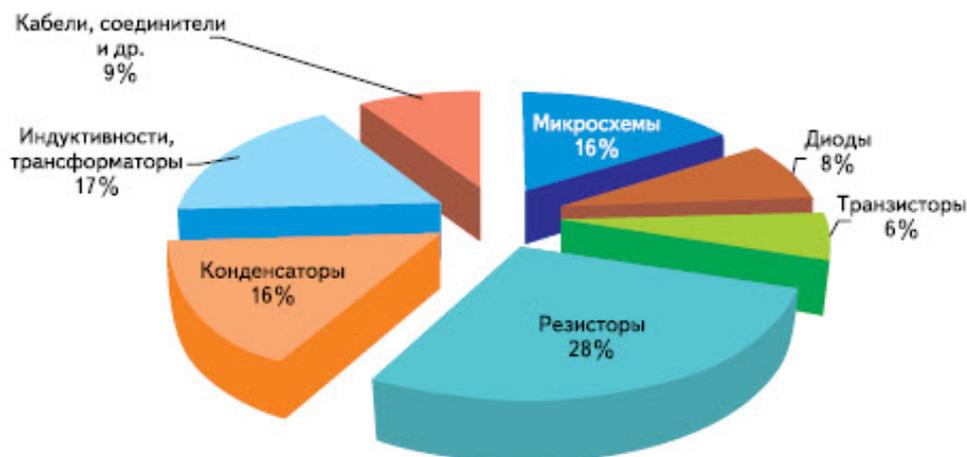


Рисунок 3.3 Соотношение активных и пассивных электронных компонентов БРЭА в КА

Для примера, в России официальным стандартом по расчету оценки сбоев и отказоустойчивости является РД 134-0139 [22].

### 3.1 Расчётно экспериментальный метод оценки устойчивости БРЭ к радиации

Расчётный экспериментальный способ (метод) устойчивости БРЭ будет основан на расчетах частоты отказов бортовой радиоэлектронной аппаратуры из-за действия ТЗЧ в пространстве (3.1), где  $\nu_{БРЭА}$  - количество отказов в БРЭА в ед. времени,  $c^{-1}$ ;  $\varphi_{ТЗЧ}(L)$  — дифф-ный ЛПЭ – спектр потока заряженных частиц,  $част \cdot см^{-2} \cdot c^{-1} \cdot МэВ^{-1} \cdot см^{-2} \cdot Г$ ;  $\varphi_p(E)$  — дифференциально энергетический-принятый спектр проходящего движения протонов,  $част. см^{-2} \cdot c^{-1} \cdot МэВ^{-1}$ ;  $L_0$  — конечное значение линейной передачи энергии,  $МэВ \cdot см^2 \cdot Г^{-1}$ ;  $E_{op}$  — порог энергии протонов,  $МэВ$ ;  $L_{max}$  — макс. значение ЛПЭ в спектре ТЗЧ,  $МэВ (3.2) \cdot Г^{-1}$ ;  $E_{max}$  — макс. значение прошедшей энергии в спектре,  $МэВ$ ;  $\sigma_i(L), \sigma_i(E)$  — зависимость сечений поломок в работе ЭРИ  $i$ -го типа от линейной передачи энергии ТЗЧ и энергии протонов следовательно, (3.2);  $n_{ЭРИi}$  — количество ЭК  $i$ -го типа, примененных в бортовой радиоэлектронной аппаратуре;  $n$  — число примененных в бортовой радиоэлектронной аппаратуре типов электронных компонентов с различными зависимостями  $\sigma_i(L), \sigma_i(E)$ .

Частоту нарушения частей БРЭА вычисляется отдельно для ЗЧ СКЛ, ГКЛ и ЕРПЗ с учетом защиты.

$$\nu_{БРЭА} = \sum_{i=1}^n n_{ЭРИi} \left( \int_{L_0}^{L_{max}} \sigma_i(L) \varphi_{ТЗЧ}(L) dL \right) \quad (3.1)$$

$$v_{БРЭА}^T = \sum_{i=1}^n n_{ЭРИ_i} \left( \int_{L_0}^{L_{max}} \sigma_i^T(L) \varphi_{ТЗЧ}(L) dL \right) \quad (3.2)$$

Последовательность аварийных отказов в бортовой радиоэлектронной аппаратуре определяется уравнением (3.2), где  $v_{БРЭА}^T$  частота образования возможных остановок в БРЭА с учетом мер, принятых для предотвращения отказа ЕС, чувствительного к единичному отказу, где;  $\sigma_i^T(L)$ ,  $\sigma_i^T(E)$  зависимо от площади поперечного сечения при возникновении единичного отказа электронных компонентов (тиристорный эффект, пробой) от ЛПЭ ТЗЧ и энергии частиц протонов в соответствии. Возникновение аварийного отказа устройства из-за действия ТЗЧ в космическом пространстве может быть рассчитана по следующей формуле (3.3):

$$P(t) = 1 - e^{-v_{БРЭА}^T * t} \quad (3.3)$$

Где  $t$  – это установленный период активности работы космического аппарата и время его работы в процессе которого в бортовой радиоэлектронной аппаратуре определяется находится во включенном положении [22].

На рисунке 3.4 можно увидеть приведённую проекцию интегрального спектра высокоэнергичных протонов ЕРПЗ от высоты орбиты и толщины защиты для частиц с энергией, которая равна 10 МэВ.

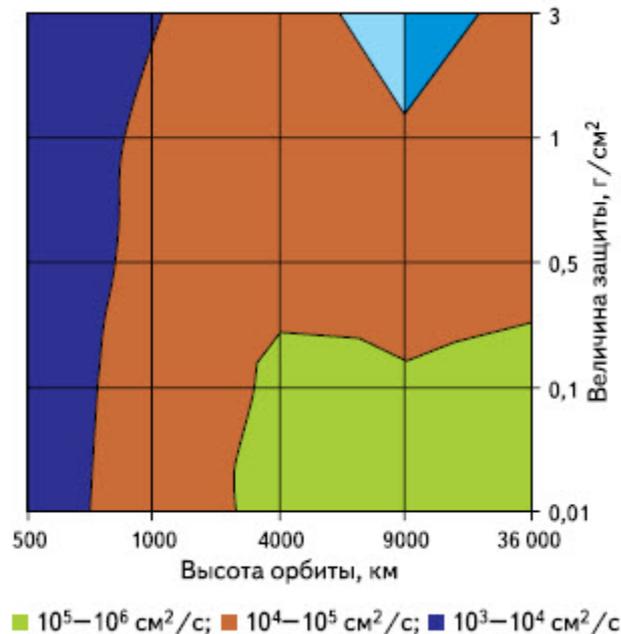


Рисунок 3.4 – Проекция интегрального спектра ВЭП естественных радиационных поясов Земли от высоты орбиты и толщины защиты для частиц с энергией, равной 10 МэВ

Вы можете видеть в проекции, по мере увеличения высоты орбиты количество протонов возрастает все больше и больше, а по мере увеличения толщины защиты, наоборот, уменьшается.

В [22] можно заметить приведено стандартное значение параметров чувствительности электрорадиоизделий к единичному воздействию при воздействии ТЗЧ.

Влияние эффекта дозы можно оценить в настоящем ОСТ 134-1034 [24]. Стандарт формирует основные требования, приведенные в ГОСТ РВ 20.57.308 [23], и определяет БРЭ, прибор космического аппарата, для воздействия ИИ в космическом пространстве из-за дозового (необратимого параметрического) эффекта.

Расчет уровня сопротивления БРЭ осуществляется элементарным методом, уровень должного сопротивления каждого типа ЭЦ и уровень радиационного воздействия определяются таким расчетом (результат оценки поглощенных электронов, протонов является предварительным коэффициентом радиационной стойкости короткого замыкания. Если  $K_3$  равно 3, то продукт имеет высокую максимальную накопительную дозу если  $K_3 \geq 3$  [24].

На рис. 3.5 показана проекция накопленной за прошедший год дозы высоты орбиты и толщины защиты.

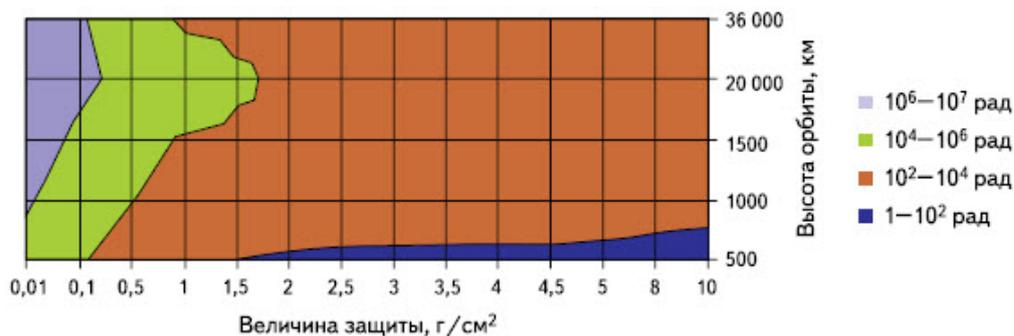


Рисунок 3.5 - Проекция накопленной дозы от высоты орбиты и толщины защиты воздействовавшей в течение года

С ростом подъёма на высоту орбиты накопленная доза возрастает, а с повышением толщины защиты — будет падать, например присутствуют следующие исключения, существует радиационное излучение поясов земли, где фон радиации выше, чем за их пределами.

Оценить стойкость можно разделить на два пункта:

1. Подсчёт максимально возможной допустимой накопленной дозы и расчет коэф., запаса ( $K_3$ ).
2. Подсчёт вероятности возникновения одиночных сбоя и катастрофических отказов за время работы бортовой радиоэлектронной аппаратуры.

Блок-схема используемого алгоритма для применяемой методики обеспечения стойкости электронных компонентов блока для сбора технической информации приведена на рисунке 3.6.

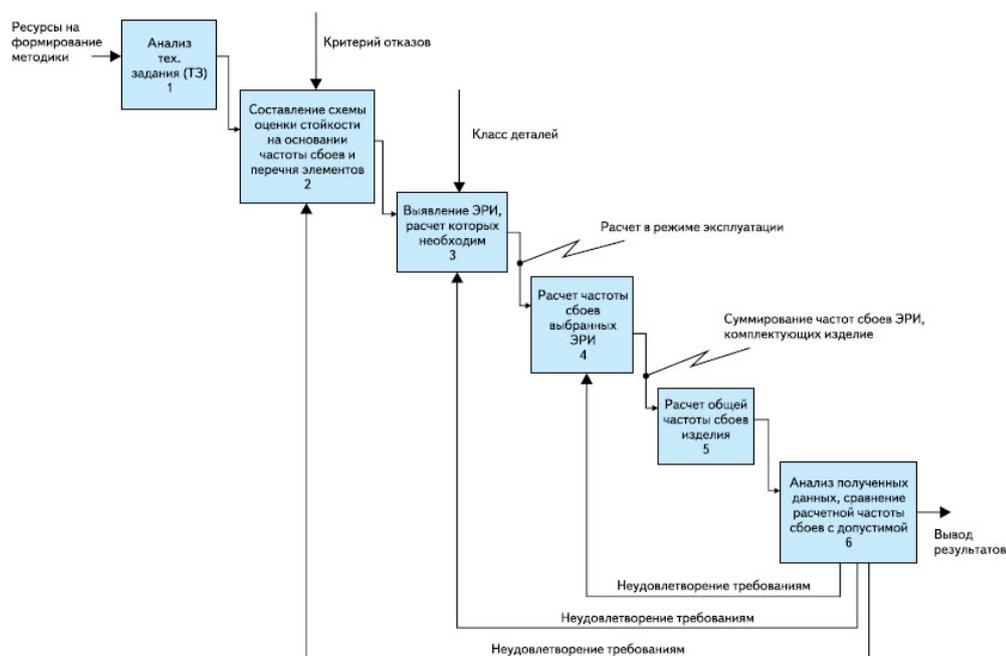


Рисунок 3.6 - Блок-схема, на которой изображён алгоритм действия методики обеспечения спецстойкости электронных компонентов

Давайте обобщим все вышесказанное. Обеспечение радиационной стойкости является одной из самых основных решаемых задач, стоящих перед космической отраслью.

В результате вопрос оценки надежности долговечности на стадии проектирования космического аппарата является наиболее важным вопросом не только в Российской Федерации, а также всем мире. Значительное сокращение производства радиационно-стойких базовых деталей и уменьшение числа производителей такой продукции на рынке привели к использованию ЭК, представленная коммерческим качеством в космических аппаратах. В основу легла причина экономического характера: цена коммерческой продукции на несколько порядков ниже, чем в случае радиационной стойкости.

Из-за несовершенства отечественной базы запчастей в Казахстане они вынуждены использовать в разработке ЕС иностранного производства. Индекс энергии протонов, вызывающий единичный отказ, почти полностью отсутствует, а в данных производителя указано насыщенное поперечное сечение единичного отказа, а катастрофический отказ — это топологическая норма, способная аппроксимировать стабильность компонента, которую можно найти во многих информационных материалах в Интернете, но неофициальный. Чтобы получить достоверные данные, вам необходимо отправить официальный запрос производителю. Время ожидания ответа на такой запрос может превышать 6 месяцев, что может значительно увеличить период разработки ВРАА. Кроме того, некоторые компании не могут предоставить такую информацию, поскольку они используют материалы, которые покупают, а не производят самостоятельно. Поэтому есть три выхода из этой ситуации:

1. Развитие и совершенствование базы отечественных запчастей.
2. Сотрудничество зарубежных компаний производителя запчастей с отечественными производственными компаниями и создание доступной для всех информационной базы, содержащей все параметры, необходимые для долговечности ЕС.
3. Периодические обновления значений "типичных" параметров в Приложении "В" [22].

Один из 3-х вариантов требует определенных затрат. Однако последние два направления кажутся сегодня более перспективными, чем развитие отечественной промышленности микроэлектроники, которая практически безнадежно отстает, тем более что уже существует определенная кооперация между иностранными производителями и отечественными потребителями.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте были рассмотрены стандарты, применяемые для возможной разработки и проектировки электронных компонентов, основные полупроводниковые приборы ПП, применяемые в космическом аппарате, а также возможности и методы снижения энергопотребления для более продолжительной работы космического аппарата на орбите, ну и самое главное для успешной работы в открытом космосе был рассмотрен вопрос воздействия радиационных излучений и воздействия на бортовую радиоэлектронику КА.

Я занимался изучением радиоэлектронной базы, данными инженерной технической литературы.

Предметом исследования были радиоэлектронные компоненты применяемые в бортовой аппаратуре КА. Объектом исследования - координаты и пересчет их в единую систему координат.

В ходе работы над проектом были достигнуты поставленные цели и задачи:

В представленной дипломной работе были поставлены и решены следующие задачи:

- освоены способы существующих методов разработки;
- проанализированы особенности воздействия радиации на интегральные микросхемы КА;
- рассмотрены методы минимизации энергопотребления микроэлектронных устройств для КА;
- проделан анализ проектирования электронных компонентов космических аппаратов.
- произведены расчёты воздействия радиации на ИС КА;

Актуальность развития радио элементной базы заключается в том, что при разработке отечественных компонентов Казахстан может выйти на новый уровень в космической промышленности. Ведь разработка новых поколений полупроводников становятся всё более актуальной задачей.

Будущий потенциал развития данного продукта (полупроводниковой элементной базы) огромен. Основные тенденции развития элементной базы связываются с введением новейших технологий как в коммерческой отрасли космического прибора строения, так и военных разработок.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БиКМОП БИС – большая интегральная схема на основе биполярных транзисторов и комплементарных МОП транзисторов  
БИС – большая интегральная схема  
БЦВМ – бортовая цифровая вычислительная машина  
ЗУ – запоминающее устройство  
ИИ – ионизирующее излучение  
ИИИ – импульсное ионизирующее излучение  
ИСЗ – искусственный спутник Земли  
КА – космический аппарат  
КЛА – космический летательный аппарат  
КМОП ИМС – интегральная микросхема на комплементарных МОП-транзисторах  
МОП – металл-окисел-полупроводник  
МОПТ – МОП-транзистор  
ОЗУ – оперативное запоминающее устройство  
РД – радиационные дефекты  
РС – радиационная стойкость  
РЭА – радиоэлектронная аппаратура  
ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика  
ТТЛШ – транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки  
ЭЗ – элементы защиты  
ЭКБ – элементно-компонентная база  
ЭМИ – электромагнитное излучение  
ЕРПЗ - интегрального спектра высокоэнергичных протонов  
ТЗЧ – тяжёлые заряженные частицы  
БРЭА бортовой радиоэлектронной аппаратуры  
МКД - максимальной кумулятивной дозой  
ГКЛ - Галактические Космические Лучи  
СКЛ - Солнечные Космические Лучи  
ЭК – электро-компоненты

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бумагин А., Гулин Ю., Заводсков С., Стешенко В. и др. Специализированные СБИС для космических применений: проблемы разработки и производства // Электроника: НТБ. – 2010. – № 1. – С. 50–56.
2. Стешенко В.Б. и др. Проектирование СБИС типа «Система на кристалле». Маршрут проектирования. Синтез схемы // Электронные компоненты. – 2009. – № 1.
3. Стешенко В.Б. и др. Опыт разработки СБИС типа СНК на основе встроенных микропроцессорных ядер // Компоненты и технологии. – 2008. – № 9.
4. Koons H.C. et al. The impact of the space environment on space systems/ Technical Report, ADA376872; TR99(1670)1; SMCTR0010 EL Segundo Technical Operations.
5. Кобзарь Д. Процедурные вопросы применения электронных средств в военной технике: нормативная база и правда жизни // Современные технологии автоматизации. – 2007. – № 3. – С. 86–97.
6. Руткевич А., Стешенко В., Шишкин Г. Самосинхронная электроника: направления развития // Электроника: НТБ. – 2009. – № 8.
7. Lacol R. CMOS scaling, design principles and hardening by design methodologies/2003 IEEE NSREC/ Radiation effects in advanced commercial technologies, 2003, California, P. II1–II142.
8. Стешенко В.Б. и др. Программируемые логические интегральные схемы: обзор архитектуры и особенности применения // Схемотехника. – 2000. – № 1–2; 2001. – № 1.
9. Стешенко В.Б. Разработка и производство специализированной ЭКБ для космического применения: текущее состояние и перспективы развития. Ч. 1 // Компоненты и технологии. – 2010. – № 11.
10. Осипенко П. Одиночные сбои – вызов для современных микропроцессоров // Электронные компоненты. – 2009. – № 7.
11. Телец Бю, Цыбин С., Быстрицкий А., Подъяпольский С. ПЛИС для космических применений. Архитектурные и схемотехнические особенности // Электроника: НТБ. – 2005. – № 6.
12. [www.russianelectronics.ru/developerr/review/2189/doc43922.phtml](http://www.russianelectronics.ru/developerr/review/2189/doc43922.phtml)
13. [www.electronics.ru/files/article8329.pdf](http://www.electronics.ru/files/article8329.pdf)
14. [cj.kubargo.ru/2012/02/pdf/39.pdf](http://cj.kubargo.ru/2012/02/pdf/39.pdf)
16. Белоус А.И., Ефименко С.А., Турцевич А.С. Полупроводниковая силовая электроника. – М.: Техносфера, 2013. – 216 с.
17. Захаров А.С., Малинин В.Г., Сапега А.В. Иностраные микросхемы в стратегии  
ческой РЭА // Петербургский журнал электроники. – 2012. – № 3. – С. 37–44.

18. Бернад К. (Kiran Bernard). Преимущества использования полевых GaN-транзисторов в непилотируемых космических аппаратах // Вестник электроники. 2018. № 2.
19. Dooling D. Stormy weather in space // IEEE Spectrum. 1996. № 6.
20. «Ritter C. Spacecraft anomalies and future trends // 1996 IEEE NSREC IEEE Nuclear and Space Radiation Conference. Short Course: Radiation Effects Challenges for 21st Century Space Systems. Renaissance Esmeralda Resort Indian Wells, California. July 15, 1996».
21. ГОСТ РВ 20.39.305-97. Требования по стойкости к воздействию СФ.
22. РД 134-0139-2005. Методы оценки стойкости к воздействию заряженных частиц космического пространства по одиночным сбоям и отказам.
23. ГОСТ РВ 20.57.308-97. Методы оценки стойкости к воздействию СФ.
24. ОСТ 134-1034-2003. Методы испытаний и оценки стойкости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов к воздействию электронного и протонного излучений космического пространства по дозовым эффектам.
25. Белоус А.И., Ефименко С.А., Турцевич А.С. Полупроводниковая силовая электроника. – М.: Техносфера, 2013. – 216 с.

**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу  
(наименование вида работы)

**Лисогор Валерий Андреевич**  
(Ф.И.О. обучающегося)

5B074600 – Космическая техника и технологии  
(шифр и наименование специальности)

Тема: «Разработка и проектирование электронных  
компонентов космических аппаратов»

В настоящей дипломной работе рассматриваются вопросы требования международных стандартов к электрическим и электронным компонентам БКУ КА, от которых напрямую зависят дальнейшие разработки, силовые полупроводниковые приборы для электронных систем КА, методы минимизации энергопотребления микроэлектронных устройств для КА, а также представлен результаты анализа особенностей воздействия радиации на интегральные микросхемы КА.

Все поставленные задачи в ТЗ дипломником выполнены в полном объеме и при этом Валерий Лисогор показал себя трудолюбивым и ответственным студентом.

Дипломная работа **Лисогор В.** оценивается на 95 баллов, и автор заслуживает академической степени бакалавр техники и технологий по ОП «Космическая техника и технологий».

**Научный руководитель**  
К.т.н., ассоциированный профессор  
(должность, уч. степень, звание)

 Таштай Е.  
(подпись)

« 27 » мая 2022 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Лисогор Валерий Андреевич

5B074600 – Космическая техника и технологии

**Тема** «Разработка и проектирование электронных компонентов космических аппаратов»

В дипломной работе Лисогор Валерий кратко представил основные виды международных требований, применяемых для проектировки и разработки электронных компонентов в космических аппаратах для обеспечения надежности комплексов на всех этапах эксплуатации. Был проведен литературный обзор основных полупроводниковых приборов, применяемых в разработке и проектировке КА. Описаны методы снижения энергопотребления ЭК для максимально продолжительной работы КА на орбите. Представлены методы и расчеты влияния ионизирующего излучения на ЭК, которые влияют на надежность бесперебойной работы космических аппаратов в открытом космическом пространстве. В дипломной работе отсутствует раздел по проектированию электронных компонентов КА и полагаю, что работа не завершена полностью. Считаю, до защиты студент должен добавить необходимые данные по проектированию ЭК КА.

Считаю, что полученные результаты будут интересны для будущих студентов и молодых специалистов, работающих в космической отрасли.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ.

Дипломная работа выполнена на оценку «хорошо», а студент, Лисогор Валерий Андреевич достоин степени бакалавра по специальности 5B074600 – Космическая техника и технологии.

**Рецензент**

PhD, заведующий кафедры «КИ».

Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева

Төлендіұлы Санат

« 27 »

2022 г.



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Лисогор Валерий Андреевич

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Разработка и проектирование электронных компонентов космических аппаратов

**Научный руководитель:** Ерлан Таштай

**Коэффициент Подобия 1:** 6.8

**Коэффициент Подобия 2:** 1.5

**Микропробелы:** 111

**Знаки из других алфавитов:** 16

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 1

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

17.05.2022  
Дата

 Марсела С  
проверяющий эксперт

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Лисогор Валерий Андреевич

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Разработка и проектирование электронных компонентов космических аппаратов

**Научный руководитель:** Ерлан Таштай

**Коэффициент Подобия 1:** 6.8

**Коэффициент Подобия 2:** 1.5

**Микропробелы:** 111

**Знаки из других алфавитов:** 16

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 1

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

27.05.2022  
Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Лисогор Валерий Андреевич**

**Тақырыбы: Разработка и проектирование электронных компонентов космических аппаратов**

**Жетекшісі: Ерлан Таштай**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 6.8**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.5**

**Дәйексөз (35): 2**

**Әріптерді ауыстыру: 16**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеністіктер: 111**

**Ақ белгілер: 1**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілісін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

27.05.2022

Күні

Кафедра меңгерушісі

