

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ . . . . .   | 4  |
| ВВЕДЕНИЕ . . . . .  | 5  |
| 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ . . . . .  | 7  |
| 1.1 Цель работы . . . . .   | 7  |
| 1.2 Требования к работе . . . . .   | 7  |
| 1.3 Задачи . . . . .  | 7  |
| 2 ТРЕБОВАНИЯ К СЕРВЕРНЫМ МОДУЛЯМ И МУС . . . . .                                    | 9  |
| 2.1 Требования к однопроцессорному модулю E8C2-uATX/SE . . . . .                    | 9  |
| 2.2 Требования к двухпроцессорному модулю E8C2-EATX . . . . .                       | 11 |
| 2.3 Требования к системе питания модулей E8C2-uATX/SE и E8C2-EATX . . . . .         | 11 |
| 2.4 Требования к функционалу для наладки модулей E8C2-uATX/SE и E8C2-EATX . . . . . | 11 |
| 2.5 Требования к модулю управления системой МУС-А . . . . .                         | 13 |
| 3 ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ МОДУЛЕЙ . . . . .  | 15 |
| 4 ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТ . . . . .  | 17 |
| 4.1 Система питания . . . . .   | 17 |
| 4.1.1 Линейные преобразователи напряжения . . . . .                                 | 17 |
| 4.1.2 Импульсные однофазные источники . . . . .                                     | 18 |
| 5 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМ . . . . .                          | 21 |
| 5.1 Функциональная схема . . . . .  | 21 |
| 5.2 Электрическая схема . . . . .   | 22 |
| 5.2.1 Разработка типового блока микропроцессора Эльбрус-8С2 . . . . .               | 22 |
| 5.2.2 Разработка системы питания . . . . .  | 22 |
| 5.2.3 Прочее . . . . .  | 29 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6     | РАЗМЕЩЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ, ТРАССИРОВКА ПЛАТ, ПРОВЕДЕНИЕ DRC ГЕНЕРИРОВАНИЕ ФАЙЛОВ И СОЗДАНИЕ КД . . . . . | 31 |
| 6.1   | Размещение компонентов и трассировка плат . . . . .   | 31 |
| 6.1.1 | Форм-фактор и структура . . . . .   | 31 |
| 6.1.2 | Процессорный блок . . . . .   | 33 |
| 6.1.3 | Полигоны питания . . . . .  | 36 |
| 6.1.4 | Интерфейсы . . . . .  | 37 |
| 6.1.5 | Точки съема напряжения . . . . .  | 38 |
| 6.2   | Проведение DRC . . . . .  | 38 |
| 6.3   | Генерирование файлов и создание КД . . . . .  | 39 |
| 7     | РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ . . . . .   | 40 |
| 7.1   | Основные ограничения . . . . .  | 40 |
| 7.2   | Подбор компонентов . . . . .  | 44 |
| 7.3   | Электрическая схема . . . . .   | 45 |
| 7.4   | Размещение и трассировка, проведение DRC, создание КД . . . . .                                       | 46 |
| 8     | ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ . . . . .  | 49 |
| 8.1   | Проект Yocto . . . . .  | 49 |
| 8.1.1 | Определения . . . . .   | 49 |
| 8.1.2 | Создание рецепта . . . . .  | 50 |
| 8.1.3 | Программа сборки Bitbake . . . . .  | 51 |
| 8.2   | Исходный код прошивки . . . . .   | 52 |
| 8.3   | Сборка программных средств . . . . .  | 53 |
| 8.4   | Работа с программными средствами . . . . .  | 54 |
| 9     | ОПИСАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ. ВНЕДРЕНИЕ . . . . .   | 58 |
|       | ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .  | 60 |
|       | БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК . . . . .  | 61 |
|       | ПРИЛОЖЕНИЕ А . . . . .  | 62 |

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- E8C2-uATX/SE – однопроцессорный модуль на микропроцессоре ”Эльбрус-8C2” в форм-факторе MicroATX;
- E8C2-EATX – двухпроцессорный модуль на микропроцессоре ”Эльбрус-8C2” в форм-факторе ExtendedATX;
- МУС – модуль управления системой;
- МУС-А – МУС, рассматриваемый в данной работе;
- системный модуль – модуль, в который установлен рассматриваемый МУС
- DRC – design rule checking, проверка правил проектирования платы;
- FRUID – память типа EEPROM, в которую система;
- ПО -программное обеспечение;
- ОПО и СПО – общее и специальное программное обеспечение;
- КПИ-2 – контроллер периферийных интерфейсов фирмы МЦСТ;
- АПМДЗ – аппаратно-программный модуль доверенной загрузки;
- САПР – средство автоматического проектирования;
- КД – конструкторская документация;
- ПД – программная документация;
- ТД – технологическая документация;
- ШИМ – широтно-импульсная модуляция;
- Bitbake – программа сборки программных средств;
- ОС – операционная система.

## ВВЕДЕНИЕ

### СЕРВЕРНЫЕ МОДУЛИ

Серверные модули имеют в первую очередь сервисное предназначение. Различные цифровые устройства и вычислительная техника подключается к серверам для использования их вычислительных мощностей или другого функционала сервера для своих задач. [1] Кроме того, серверные модули предназначены для работы в связке с другими серверами - кластере, системе хранения данных и др. Они должны быть легко доступными для контроля и управления в составе такой системы.

Серверы предназначены для выполнения многих задач, например таких как:

- файловое хранилище;
- организация печати;
- веб-службы;
- организация удаленного доступа;
- исполнение программ;
- сервер электронной почты;
- хранение базы данных.

[1]

Перечисленные функции серверов являются основными. Для поддержания всего функционала для модуля сервера необходима возможность подключения накопительной памяти большого объема, оперативная память большого объема, производительный микропроцессор или несколько, широкий набор периферийных интерфейсов, включая сетевые. Для создания отечественных аналогов зарубежных серверов в рамках импортозамещения разрабатываются серверные модули на основе микропроцессоров линейки "Эльбрус", позволяющие выполнять данные задачи.

За основу серверного модуля предлагается взять новую разработку компании МЦСТ – восьмиядерный микропроцессор "Эльбрус-8С2". Особенностью

разработки модулей под данный микропроцессор является тот факт, что финальная версия микропроцессора "Эльбрус-8С2" еще не была выпущена во время разработки модулей, в связи с чем отсутствуют данные об условиях работы нового микропроцессора. В разрабатываемых модулях требуется предоставить возможность определить эти условия.

## МОДУЛИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ

Модули управления системой (МУС) – модули, интегрированные в плату сервера или подключаемые к ней. МУС имеют возможность проводить с модулем сервера следующие действия: [2]

- включать, выключать, перезагружать модуль сервера;
- предоставлять доступ к последовательному порту системы;
- считывать и записывать информацию во флеш-память FRUID;
- считывать показания датчиков температуры, преобразователей напряжения, управлять вентиляторами;
- записывать системные логи сервера;
- производить другие действия согласно спецификации IPMI 2.0.

Данный функционал реализует управление серверным модулем, используя сеть МУС. МУС предоставляет возможность решать проблемы с нештатной работой любого сервера из состава кластера, перенастраивать его и совершать иные действия с удаленной машины.

МУС входят в комплект поставки серверов. На предприятии в составе серверных модулей поставляются МУС фирмы Pigeon Point PPM-700R. Рассмотренный в данной работе модуль МУС-А призван заменить импортный аналог более дешевым модулем в комплектациях серверов на микропроцессорах "Эльбрус".

Подключение к МУС осуществляется через последовательный порт или по выделенной локальной сети МУС. После подключения пользователь получает возможность выполнять описанные действия из командной оболочки операционной системы МУС.

# 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ

## 1.1 Цель работы

Целью работы является разработка однопроцессорного и двухпроцессорного серверных модулей на микропроцессоре "Эльбрус-8С2" и модуля управления системой МУС-А, входящего в состав данных серверов.

## 1.2 Требования к работе

Предъявлены следующие требования к работе:

- разработать серверные модули: однопроцессорный E8C2-uATX/SE - форм-фактор Micro ATX и двухпроцессорный E8C2-EATX - форм-фактор Extended ATX ;
- реализовать на данных модулях функционал для наладки;
- разработать модуль управления системой на основе микросхемы Aspeed AST2400 в форм-факторе DDR3 SODIMM; разработанный МУС должен быть совместим с МУС Pigeon Point PPM-700R;
- адаптировать программные средства для МУС.

## 1.3 Задачи

В ходе анализа требований были исследованы существующие решения и поставлены следующие задачи:

- а) Формирование и учет основных ограничений – выбор корпуса, расположение компонентов, типов корпусов, выбор электронно-компонентной базы, технологические ограничения (технологии монтажа, тестирования).
- б) Выполнение проектирования согласно маршруту с учетом ограничений:

- разработка функциональной схемы: определение основных компонентов, всех интерфейсов, номиналов питания, порядка включения системы питания, синхросигналов, карты служебных шин;
  - разработка электрической схемы: определение компонентов на плате, расчет всех значений резисторов, конденсаторов, индуктивностей согласно документации на компоненты, подключение всех пинов компонентов к линиям и техническим символам;
  - размещение и трассировка: определение границ платы, структуры платы, расположения основных компонентов согласно стандартам, чертеж полигонов питания на слоях питания. Размещение остальных компонентов согласно документации микросхем и требованиям селективной пайки. Трассировка высокочастотных интерфейсов согласно стандартам, затем трассировка остальных линий, размещение шелкографии на плате;
  - проверка платы, проведение DRC, исправление ошибок;
  - генерирование финальных файлов для отправки на завод;
  - подготовка файлов для создания конструкторской документации;
  - тестирование и наладка.
- в) Участие в создании конструкторской, программной и технологической документации.

## 2 ТРЕБОВАНИЯ К СЕРВЕРНЫМ МОДУЛЯМ И МУС

Модули на микропроцессорах "Эльбрус" должны удовлетворять современным требованиям к серверам. В данном разделе указаны ограничения, наложенные на разработку модуля.

Микропроцессор, лежащий в основе модуля - "Эльбрус-8С2". Для данного микропроцессора еще не определены все режимы его работы, поэтому требуется реализовать функционал для наладки и тестирования модуля на этом микропроцессоре. Это второй восьмиядерный микропроцессор на архитектуре "Эльбрус" в линейке компании. От микропроцессора прошлого поколения "Эльбрус-8С" он отличается в первую очередь подсистемой памяти. В "Эльбрус-8С" была реализована память DDR3, в новом процессоре использован стандарт DDR4, что наложило на модуль новые требования. Кроме того, модули на данных процессорах отличаются системой питания микропроцессора. К новым модулям также были предъявлены требования по селективной пайке компонентов со сквозным креплением, интерфейсам I2C и JTAG.

Стандартом ATX регламентировано расположение слотов расширения. Среди возможных интерфейсов слотов указаны ISA, PCI, CNR и AGP. Но современные реалии требуют интерфейс PCI-Express (далее по тексту – PCIe) в качестве основного для слотов расширения. Размещение слотов в данном случае регламентируется стандартом PCIe [4].

В основе модуля лежат микропроцессор "Эльбрус-8С2" и контроллер периферийных интерфейсов КПИ-2 компании МЦСТ. Параметры и возможности этих микросхем определяют технические характеристики модуля. Основные требования к модулям E8C2- $\mu$ ATX/SE и E8C2-EATX описаны ниже. Технические характеристики модулей приведены в Приложении-А.

### 2.1 Требования к однопроцессорному модулю E8C2- $\mu$ ATX/SE

Модуль соответствует форм-фактору  $\mu$ ATX однопроцессорной платы. Данные серверные модули достаточно компактные и энергоэффективные, однако



менее производительные, чем двух- и четырехпроцессорные. Потребляемая мощность модуля оценивается в 140Вт.

Габариты модуля выбраны в соответствии со стандартом  $\mu$ ATX.[3] Стандарт отличают компактные габариты (243,84мм × 243,84мм) платы вкупе с совместимостью с более крупными EATX и ATX, что позволяет использовать эти корпуса для модулей формфактора  $\mu$ ATX. На рисунке 2.1 представлены основные размеры платы согласно стандарту:

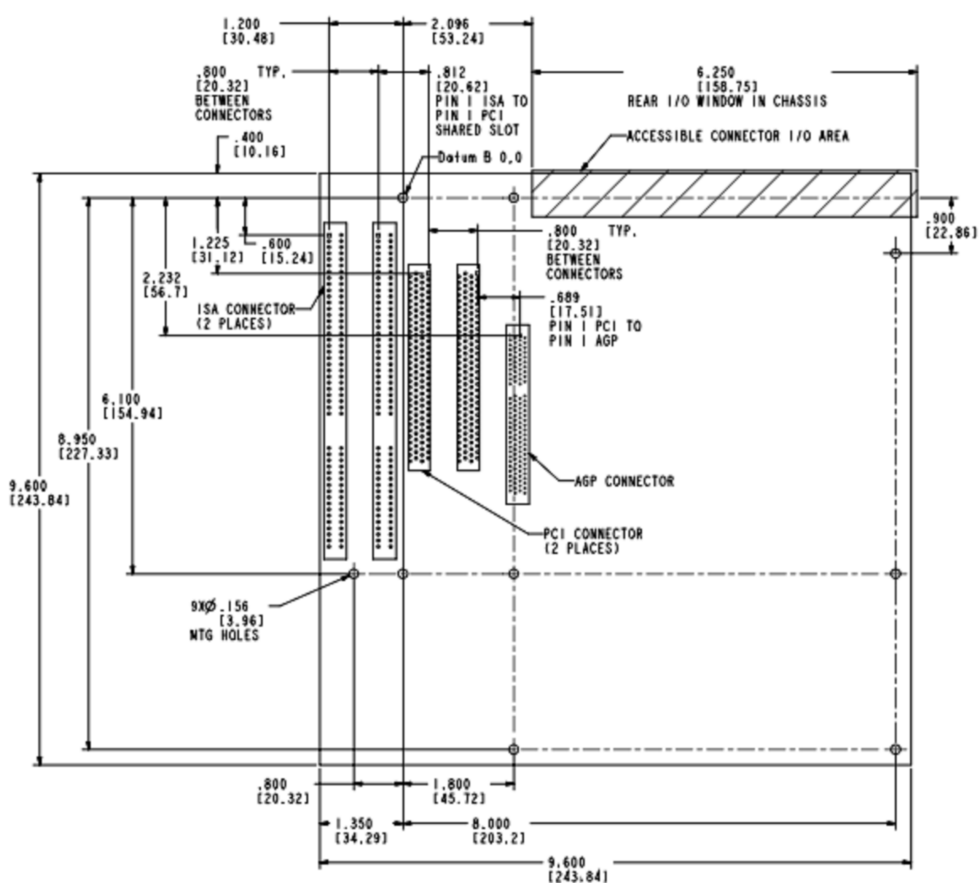


Рис. 2.1 – Основные размеры платы форм-фактора  $\mu$ ATX

Требования к интерфейсам, основным микросхемам и параметрам модуля приведены в Приложении-А.

## 2.2 Требования к двухпроцессорному модулю E8C2-EATX

Модуль E8C2-EATX крупнее модуля форм-фактора MicroATX. На нем размещаются два микропроцессора "Эльбрус-8C2", по четыре канала памяти на каждом.

Габариты модуля заданы  $304,8 \times 330,2$ мм. Потребляемая мощность модуля оценивается в 300Вт. Данный модуль предоставляет больше интерфейсов SATA, PCI Express, LAN и др.

Требования к интерфейсам, основным микросхемам и параметрам модуля приведены в Приложении-А.

### 2.3 Требования к системе питания модулей E8C2-uATX/SE и E8C2-EATX

Система питания модуля основана также на стандарте ATX и документации использованных микросхем. Потребляемая мощность микропроцессора – 70Вт, источник напряжения питания ядра должен выдавать данную мощность.

Согласно стандарту ATX при подаче питания на плату подается начальное напряжение 5В (+5V\_SB).

По сигналу PS\_ON# на модуль подаются номиналы +12V, +5V и +3V3, из которых с помощью преобразователей напряжения получены все номиналы модуля.

### 2.4 Требования к функционалу для наладки модулей E8C2-uATX/SE и E8C2-EATX

Для проведения наладки модулей на новом микропроцессоре необходимо реализовать специальный функционал. В микропроцессоре Эльбрус-8C2 имеются следующие номиналы питания (за исключением тех, которым требуется фильтр, они получают на плате из описанных):

- +0V9\_CORE;
- +0V9\_UNCORE;
- +1V2;
- +1V8.

Микропроцессоры Эльбрус-8С2 имеют разделение питания периферии микропроцессора +0V9\_UNCORE на уровне корпуса на питание подсистемы памяти и соответствующих PLL +0V9\_MC и питание подсистемы линков и соответствующих им PLL +0V9\_LINK. В существующих модулях на данном микропроцессоре было подозрение, что область допустимого напряжения этих двух доменов питания не пересекается. Для установления области допустимого напряжения требуется разместить два отдельных преобразователя напряжений на данные домены питания. На преобразователях требуется реализовать возможность менять выходное напряжение запаиванием контактных площадок, а также контактные площадки для установки потенциометра, предоставляющего возможность программным образом менять выходное напряжение и тем самым проводить тестирование.

Также на всех основных источниках требуется установить контактные площадки для съема напряжения. На основном питании ядра микропроцессора, которое потребляет наибольшую мощность, есть возможность подключиться сразу к трем точкам:

Таблица 2.1 – Точки съема напряжения питания ядра с микропроцессора

| Индекс | Местоположение                                   |
|--------|--|
| A0_AR  | Центр SIC_global. Слой источников.               |
| A0_M1  | Центр SIC_global. Слой потребителей.             |
| A1_AR  | Зона кэша L2 между процессорными ядрами №0 и №1. |
| A1_M1  | Зона кэша L2 между процессорными ядрами №0 и №1. |
| A2_AR  | Зона процессорного ядра №4. Слой источников.     |
| A2_M1  | Зона процессорного ядра №4. Слой потребителей.   |

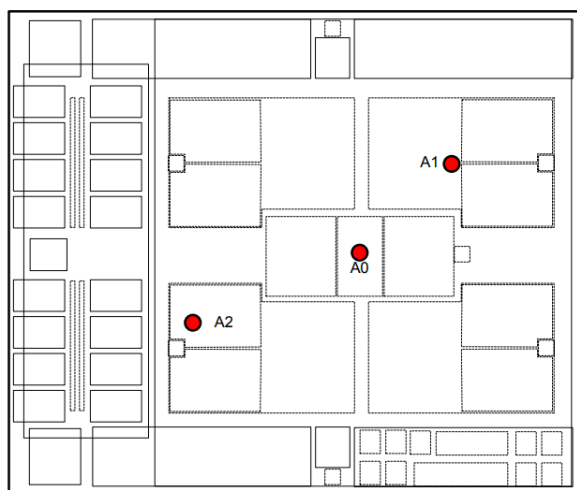


Рис. 2.2 – Точки съема напряжения питания ядра с микропроцессора

Кроме данных точек на контактные площадки выведены точки возле преобразователя напряжения и по одному пину питания микропроцессора.

На тестовые точки других номиналов также выведены точки возле преобразователя напряжения и по одному пину питания микропроцессора. Это сделано для следующих номиналов:

- +0V0\_MC;
- +0V9\_LINK;
- +1V2.

## 2.5 Требования к модулю управления системой МУС-А

Модули управления системой широко распространены на рынке серверов. Все больше возникает необходимость их использования в серверных кластерах, так как они позволяют достаточно быстро определять и устранять неполадки в сервере даже при зависшей операционной системе или включать, выключать, перезагружать с удаленной машины, не находясь при этом непосредственно у сервера.

За основу модуля взята система-на-кристалле Aspeed AST2400. Основные характеристики микросхемы:

- ядро ARM9, 400MHz;
- память DDR2/DDR3;

- загрузка по SPI;
- поддержка iKVM;
- 2D видео-адаптер (только в AST2400);
- потребляемая мощность 0,5-1,7Вт;
- размеры 19х19 мм.

В модуле требуется реализовать следующие интерфейсы, которые позволяют удаленно управлять системой:

- TIA-232-F, 2шт.;
- LAN 10/100, 2шт.;
- I2C, 5шт.;
- IPMB, 2шт.;
- SPI флеш-памяти МУС;
- SPI флеш-памяти бута и NVRAM;
- JTAG, 1шт.;
- GPIO 15шт.

Модули управления системой могут быть поставлены как отдельной платой, так и быть интегрированы в серверный модуль с использованием специальных микросхем. МУС фактически являются самостоятельной вычислительной машиной, на которую установлено собственное ОПО и СПО, позволяющее пользоваться ее функционалом.

В серверных модулях предприятия реализована поддержка МУС фирмы Pigeon Point PPMM-700R в форм-факторе DDR3 SODIMM. Модуль МУС-А должен быть совместим с соединителем и интерфейсами для МУС Pigeon Point.

### 3 ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ МОДУЛЕЙ

С учетом ограничений, заданных выше, выполнены все пункты маршрута проектирования, включающего следующие этапы, описанные в данном разделе:

- разработка функциональной схемы модуля;
- исследование и выбор компонентов;
- разработка электрической схемы модуля;
- размещение компонентов и трассировка;
- проведение DRC (design rules check) и исправление ошибок;
- генерирование финальных файлов для отправки на завод;
- создание конструкторской, программной и технологической документации модуля;
- запуск в производство.

Данный этап применим как для серверных модулей, так и для модуля управления системой.

На этапе разработки функциональной схемы определены основные интерфейсы, компоненты и способ их взаимодействия. Создана графическая модель модуля, описывающая и связывающая все функциональные узлы модуля без описания реализации этих узлов. Так как модель не имеет собственных обозначений, использованы термины принципиальной электрической схемы. В схеме представлены следующие страницы:

- схема модуля, представлены основные компоненты интерфейсы;
- схема системы синхронизации модуля, представлены все сигналы синхронизации микросхем модуля;
- схема системы питания, представлены все номиналы напряжений модуля, а также все преобразователи напряжения;
- схема включения модуля, представлена диаграмма сигналов;
- (опционально) схема модуля управления системой (МУС), аппаратно-программного модуля доверенной загрузки (АПМДЗ) и контроллера периферийных интерфейсов (КПИ-2).

При разработке принципиальной электрической схемы определены все компоненты, которые будут установлены на плату. Произведен расчет значений всех резисторов, конденсаторов, индуктивностей и других компонентов, подключены пины всех компонентов друг к другу и к служебным символам.

При размещении и трассировке определены границы платы и ее структура. Расположены основные компоненты согласно стандарту форм-фактора. Затем расставлены остальные компоненты, произведена трассировка и определение полигонов питания на слоях питания.

При проведении DRC методами САПР проведен поиск технологических ошибок, таких как короткое замыкание. Проведена проверка электрической схемы, размещения и трассировки на соответствие документации и поставленным задачам. Все найденные ошибки устранены.

Сгенерированы следующие файлы:

- BOM-файл со списком компонентов, используется для создания спецификации;
- Gerber-файлы, предоставляют собой послойное описание платы для изготовления фотошаблона на фабрике;
- DXF-файлы, чертежи верхнего и нижнего слоя для создания сборочного чертежа;
- файлы NCDrill, информация о типе и координатах металлизированных и неметаллизированных отверстий платы;
- vb\_ais и gencad.cad, информация о расположении компонентов.

Полученные файлы, схемы и проект переданы для создания конструкторской документации. В результате разработки КД создана спецификация, согласно которой произведены закупки компонентов. Файлы также отправлены на завод для создания печатных плат. После получения платы и компонентов осуществлен монтаж компонентов, наладка и тестирование.

## 4 ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТ

Проведен анализ компонентной базы модулей. Выбор компонентов описан в данном разделе.

### 4.1 Система питания

Для системы питания нужны три типа преобразователей напряжения.

- линейный преобразователь напряжения (до 2А);
- импульсный однофазный преобразователь напряжения (2-40А);
- импульсный многофазный преобразователь напряжения (от 40А).

Линейные преобразователи нужны для маломощных потребителей, как правило, для одиночных микросхем с уникальным на плате напряжением. Также они применены для номиналов стартового питания, когда машина выключена, но некоторые маломощные микросхемы должны работать для организации включения и управления платой. Однофазные импульсные преобразователи дают все рабочие номиналы микросхем и соединителей. Многофазный импульсный преобразователь дает основной номинал питания ядра микропроцессора, который требует большую мощность вкупе со стабильностью номинала.

#### 4.1.1 Линейные преобразователи напряжения

Линейные преобразователи выбирались двух типов. Менее мощный и более дешевый до 500мА и более мощный 2А.

Были рассмотрены следующие преобразователи:

- AP7331-WG-7 – Diodes Incorporated;
- MAX8527EUD+ – Maxim Integrated;
- MIC69153 – Microchip Technology.

Сравнение данных компонентов приведено в таблице 4.2.



Таблица 4.2 – Линейные источники напряжения

| Номер микросхемы              | AP7331-WG-7 | MAX8527EUD+   | MIC69153YML |
|-------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| Максимальный выходной ток, мА | 300         | 2000          | 1500        |
| Входное напряжение, В         | 2-6         | 1,425-3,6     | 1,65-5,5    |
| Выходное напряжение, В        | 0,8-5       | 0,5-(Vin-0,2) | 0,5-5,5     |
| Размеры, мм и корпус          | 3x3, SOT25  | 5x6,4, TSSOP  | 3x3, DFN    |
| Цена, \$                      | 0.15        | 2,2           | 1,5         |

Выбраны первый преобразователь как самый дешевый для номиналов, не требующих тока больше 300мА, и второй для токов до 2А.

#### 4.1.2 Импульсные однофазные источники

Было рассмотрено большое число импульсных источников для всех основных номиналов. Потребности в мощности для разных номиналов отличаются, поэтому требовалось подобрать различные импульсные источники с максимальным током в 3, 8-12 и 20-40 Ампер. Среди рассмотренных и примененных в различных проектах источников напряжения для рассмотрения были выбраны следующие:

- PDT012A0X3-SRZ;
- MDT040A0X3-SRPHZ;
- UDT020A0X3-SRZ;
- PDT003A0X3-SRZ;
- IR3843AMTRPBF;
- TPS53318DQP;
- IR3899AMTRPBF;
- TPS543C20RVFT.

Сравнение данных компонентов приведено в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Линейные источники напряжения

| Номер микро-<br>схемы              | PDT012A0X3-SRZ – General Elecrics | MDT040A0X3-SRPHZ – General Elecrics | UDT020A0X3-SRZ – General Elecrics | PDT003A0X3-SRZ – General Elecrics | IR3843AMTRPBF – Infineon | IR3899MTRPBF – Infineon | TPS53318DQP – Texas Instruments | TPS543C20RVFT – Texas Instruments |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Максимальный<br>выходной ток,<br>А | 12                                | 40                                  | 20                                | 3                                 | 3                        | 9                       | 8                               | 40                                |
| Входное<br>напряжение,<br>В        | 3-14,4                            | 4,5-14,4                            | 3-14,4                            | 3-14,4                            | 1,5-21                   | 1-21                    | 1,5-22                          | 4-14                              |
| Выходное на-<br>пряжение, В        | 0,6-5,5                           | 0,6-2                               | 0,6-5,5                           | 0,6-5,5                           | 0,7-19                   | 0,5-18                  | 0,6-5,5                         | 0,6-5,5                           |
| Встроенная<br>индуктив-<br>ность   | +                                 | +                                   | +                                 | +                                 | -                        | -                       | -                               | -                                 |
| Шина PMBus                         | +                                 | +                                   | +                                 | -                                 | -                        | -                       | -                               | -                                 |
| Размеры, мм                        | 12x12                             | 33x14                               | 20x11                             | 12x12                             | 5x6                      | 4x5                     | 5x6                             | 5x7                               |
| Цена, \$                           | 10                                | 25                                  | 12                                | 5                                 | 1,5                      | 2                       | 4                               | 7                                 |

Необходимо отметить, что у преобразователей, не имеющих встроенной индуктивности, необходимо отдельно закупать и ставить катушку индуктивности,

что повлечет увеличение стоимости и занимаемого на плате места. На выбор компонентов оказал влияние наладочный функционал преобразователей. Для данных плат наличие шины PMBus было признано решающим по сравнению с ценой и занимаемым местом, поэтому для данных модулей выбраны преобразователи 3A, 12A, 20A и 40A General Electric, остальные рассматриваются для следующих модулей и серийного производства.

В результате выбрана оптимальная компонентная база модулей.



## 5.2 Электрическая схема

Для разработки электрической схемы использовано программное обеспечение фирмы Mentor Graphics – Design Capture.

### 5.2.1 Разработка типового блока микропроцессора Эльбрус-8С2

Типовой блок микропроцессора "Эльбрус-8С2" состоит из самого микропроцессора, модулей памяти, систем питания и синхронизации.

Микропроцессор имеет 4 канала памяти DDR4, на которых доступно размещать по две планки памяти на канал. С учетом габаритов модулей выбрано 4 модуля памяти на один микропроцессор. Соединители модулей памяти подключены согласно стандарту DDR4. Пины адреса I2C шины модулей памяти утянуты в соответствии с адресом модуля. Адреса указаны на итоговой карте I2C устройств в пункте 5.9 на стр. 30.

Разработка системы питания рассмотрена в следующем пункте 5.2.2.

Система синхронизации модуля состоит из генераторов синхросигнала LVDS. Выбраны генераторы с частотой 125МГц XLL736125.000000I фирмы IDT с возможностью замены на 500МГц для проведения исследований микропроцессора с данной частотой.

### 5.2.2 Разработка системы питания

Разработка системы питания заключается в расчете показателей

Схема задания выходного напряжения преобразователя AP7331-WG-7 представлена на рисунке 5.2 [5]:

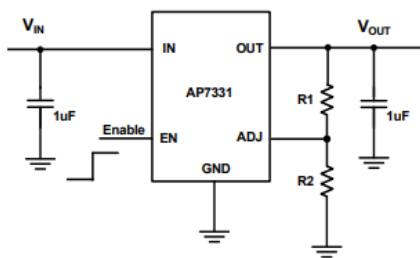


Рис. 5.2 – Схема преобразователя AP7331-WG-7

$V_{in} = 5B (+5V\_SB)$ ;  $V_{ref} = 0,4B$ ;

Номинал +1V0\_SUS:

$R_2 = 1k\Omega$ , расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_1 = R_2 \times \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1,5k\Omega \quad (5.1)$$

Взят резистор  $R_1 = 1,5k\Omega$ ; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 1B \quad (5.2)$$

Номинал +1V8\_SUS:

$R_2 = 1k\Omega$ , расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_1 = R_2 \times \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 3,5k\Omega \quad (5.3)$$

Взят резистор  $R_1 = 3,48$ ; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 1,79B \quad (5.4)$$

Номинал +2V5\_SUS:

$R_2 = 1k\Omega$ , расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_1 = R_2 \times \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 5,25k\Omega \quad (5.5)$$

Взят резистор  $R_1 = 5,23$ ; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 2,49B \quad (5.6)$$

Схема задания выходного напряжения преобразователя MAX8527EUD+ представлена на рисунке 5.3:

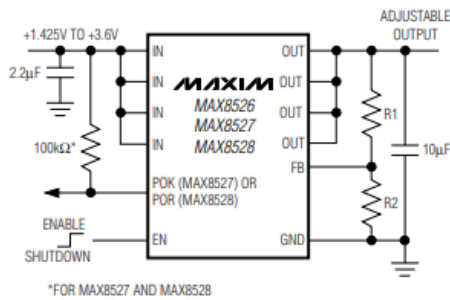


Рис. 5.3 – Схема преобразователя MAX8527EUD+

[6]

$V_{fb}=0,5B$ ;

Номинал +1V8:

$R_2=2,74k\Omega$ , расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_1 = R_2 \times \left( \frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right) = 7,12k\Omega \quad (5.7)$$

Взят резистор  $R_1=7,15$ ; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = V_{FB} \times \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 1,80B \quad (5.8)$$

Импульсные:

PDT012A0X3-SRZ, UDT020A0X3-SRZ, MDT040A0X3-SRPHZ

Схема задания выходного напряжения преобразователя PDT012A0X3-SRZ представлена на рисунке 5.4 [7]:

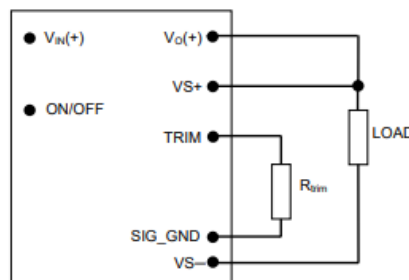


Рис. 5.4 – Схема преобразователя PDT012A0X3-SRZ

Номинал +1V0:

Расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_{TRIM} = \frac{12}{V_{OUT} - 0,6} = 30\text{кОм} \quad (5.9)$$

Взят резистор R1=30,1кОм; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = 0,6 + \frac{12}{R_{TRIM}} = 1,00\text{В} \quad (5.10)$$

Номинал +1V2:

Расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_{TRIM} = \frac{12}{V_{OUT} - 0,6} = 20\text{кОм} \quad (5.11)$$

Взят резистор R1=20кОм; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = 0,6 + \frac{12}{R_{TRIM}} = 1,20\text{В} \quad (5.12)$$

Номинал +2V5:

Расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_{TRIM} = \frac{12}{V_{OUT} - 0,6} = 6,32\text{кОм} \quad (5.13)$$

Взят резистор R1=6,34кОм; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = 0,6 + \frac{12}{R_{TRIM}} = 2,49\text{В} \quad (5.14)$$

Номинал +2V5:

Расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_{TRIM} = \frac{12}{V_{OUT} - 0,6} = 6,32\text{кОм} \quad (5.15)$$

Взят резистор R1=6,34кОм; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = 0,6 + \frac{12}{R_{TRIM}} = 2,49\text{В} \quad (5.16)$$

Номиналы +3V3\_SUS и +3V3\_1:



Расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_{TRIM} = \frac{12}{V_{OUT} - 0,6} = 4,44\text{кОм} \quad (5.17)$$

Взят резистор R1=4,42кОм; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = 0,6 + \frac{12}{R_{TRIM}} = 2,49\text{В} \quad (5.18)$$

Номиналы +0V9\_SUS и +3V3\_1:

Расчет сопротивления для искомого напряжения 0,950В:

$$R_{TRIM} = \frac{12}{V_{OUT} - 0,6} = 34,29\text{кОм} \quad (5.19)$$

Установлен массив резисторов для возможного увеличения и уменьшения напряжения путем запаивания контактных площадок. Начальное сопротивление массива R0=34,13кОм; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = 0,6 + \frac{12}{R_{TRIM}} = 0,952\text{В} \quad (5.20)$$

Многофазный преобразователь напряжения питания ядра на основе контроллера TPS40140. [8]

Максимальный выходной ток для одной фазы 20А. Максимальный ток микросхемы "Эльбрус-8С2" 120А. Исходя из этих значений установлено число фаз – 6.

Одна фаза преобразователя схематически представляет собой модулятор, выходной фильтр и компенсацию.

Схема фазы импульсного преобразователя на рис. 5.5:

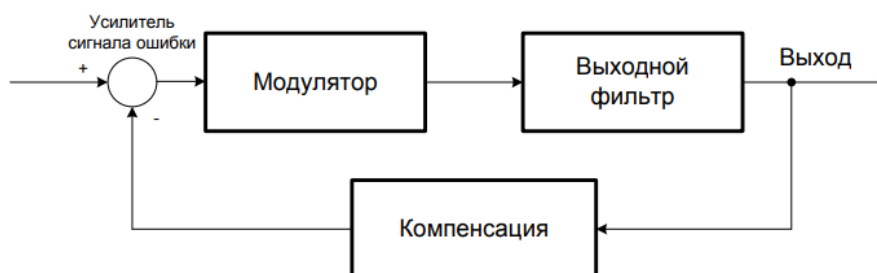


Рис. 5.5 – Схема фазы импульсного преобразователя

В составе модулятора контроллер TPS40140, управляющий открытием и закрытием транзисторов питания с помощью ШИМ-модуляции, и транзисторы питания. Фильтр включает в себя LC-контур из катушки индуктивности и выходных конденсаторов. Компенсация представляет собой делитель выходного напряжения, подаваемый на вход модулятора.

В одном контроллере TPS40140 реализуется две фазы одного выходного напряжения. Для создания многофазного преобразователя необходимо подключить контроллеры TPS40140 следующим образом:

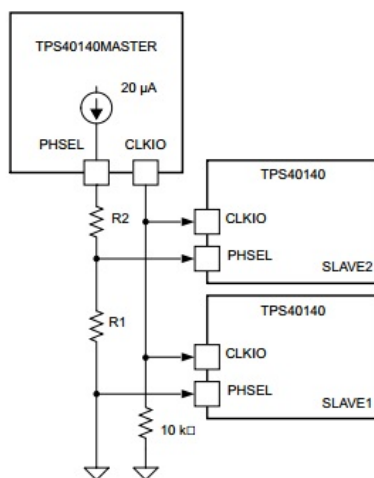


Рис. 5.6 – Подключение контроллеров в многофазном преобразователе

В итоге фазы синхронизируются, и пульсации напряжения минимизируются:



Рис. 5.7 – Пульсации напряжения в многофазном источнике

Рабочая частота контроллера TPS40140 задается резистором Rtr. Выбрана частота 500кГц:

$$R_{TR} = 1,33 \times (39,2 \times 10^3 \times f_{PH}^{-1.058} - 7) = 84,5 \times 10^3 \quad (5.21)$$

Пульсации выходного тока определяются значением выходной индуктивности.

Коэффициент пульсаций тока из-за синхронизации фазы определяется по формуле:

$$I_{RIP\_NORM} = \frac{N_{PH} \times \left( D - \frac{m1}{N_{PH}} \right) \times \left( \frac{m1 + 1}{N_{PH}} - D \right)}{D \times (1 - D)} = 0,617 \quad (5.22)$$

Индуктивность Iripple = 2А

$$L = \frac{(V_{OUT} \times (1 - D)) \times I_{RIP\_NORM}}{f_{PH} \times I_{RIPPLE}} = 0,538 \times 10^3 \quad (5.23)$$

Минимальная емкость выходных конденсаторов рассчитывается по формуле:

$$C_{outmin} = I_{TRANMAX}^2 \times \frac{\frac{L}{N_{PH}}}{2 \times (V_{IN} - V_{OUT}) \times V_{UNDER}} = 1,92\text{мФ} \quad (5.24)$$

Установлены конденсаторы общей емкостью 7,28мФ.

Выходное напряжение задается делителем напряжения. Резистор R1=10,7кОм. Требуемое значение Vout=1В.

$$R_{BIAS} = 0,7 \times \frac{R_1}{V_{OUT} - 0,7} = 25,97\text{кОм} \quad (5.25)$$

Установлен массив резисторов для смены выходного напряжения запаиванием контактных площадок. Значение напряжения по умолчанию 0,997В. На рисунке 5.8 показан данный массив резисторов:

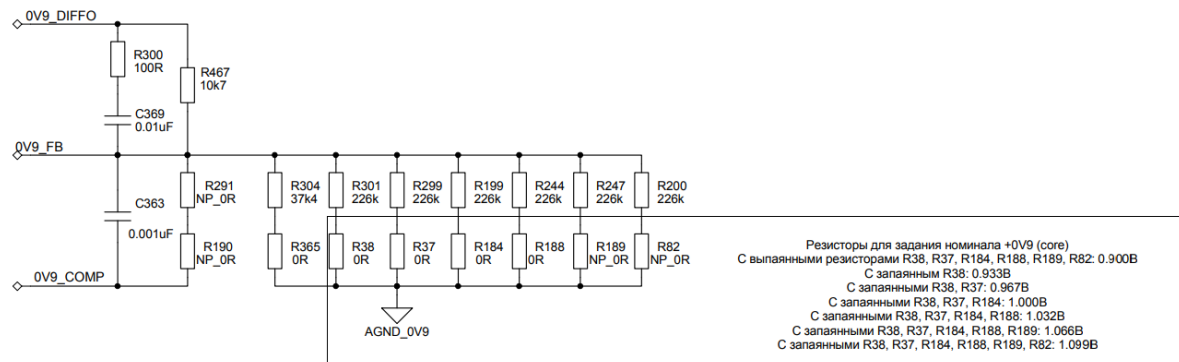


Рис. 5.8 – Задание выходного напряжения питания ядра

Для измерения токов номиналов на входе преобразователей установлены низкоомные резисторы.

### 5.2.3 Прочее

Дополнена шина I2C. К ней подключены следующие компоненты:

- КПИ-2 (мастер шины);
- МУС (мастер шины);
- термодатчики и контроллеры ШИМ вентиляторов LM96163;
- преобразователи напряжения General Electrics;
- мультиплексор I2C LTC4306;
- флеш-память EEPROM FRUID 24FC128-I/ST;
- модули памяти;
- устройства PCI и PCI Express;
- микропроцессор.

Карта I2C устройств модуля E8C2-EATX представлена на рисунке 5.9:

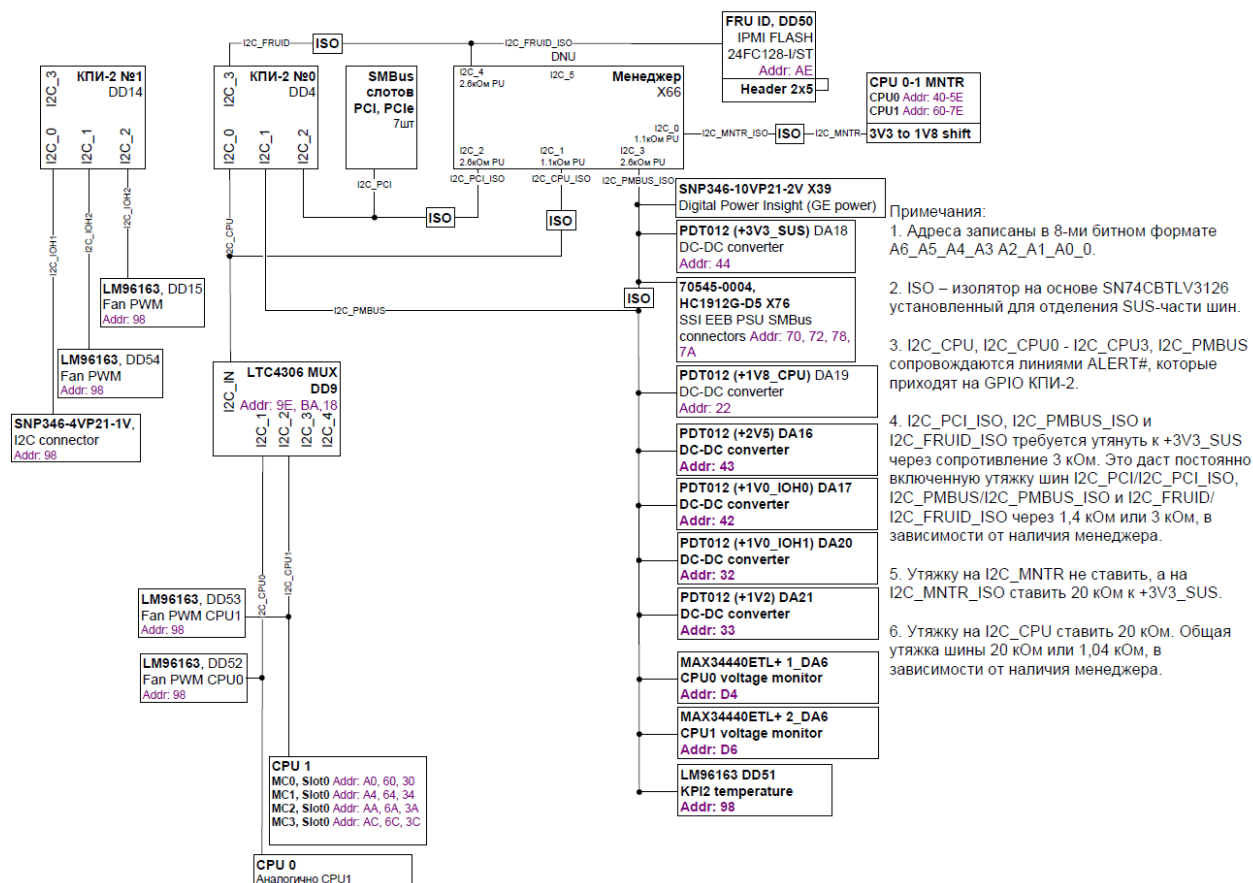


Рис. 5.9 – Карта I2C-устройств модуля E8C2-EATX

Разработаны 5 шин JTAG. На шинах установлены следующие компоненты:

- шина физуровней Ethernet, устройств PCI Express, PCI;
- шина модулей памяти микропроцессора;
- шина микропроцессоров;
- шина МУС №1;
- шина МУС №2.

В схеме микросхем флеш-памяти S25FL128SAGNFI001 использован диод BAT54-7-F. На данном диоде на токе в 100мА падение напряжения составляет 0,8В (с 3,3В до 2,3В), что недопустимо для флеш-памяти. Микросхема заменена на BAT750TA с меньшим падением в 0,31В.

В результате проведенной работы составлены электрические схемы модулей E8C2-uATX/SE и E8C2-EATX.

## 6 РАЗМЕЩЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ, ТРАССИРОВКА ПЛАТ, ПРОВЕДЕНИЕ DRC ГЕНЕРИРОВАНИЕ ФАЙЛОВ И СОЗДАНИЕ КД

Рассмотрены особенности разработки топологии плат, поиска ошибок и создание файлов для КД и производства. Данные действия выполняются в ПО фирмы Mentor Graphics – Expedition PCB.

### 6.1 Размещение компонентов и трассировка плат

#### 6.1.1 Форм-фактор и структура

Модули построены на основе модулей соответствующих форм-факторов на основе микропроцессора "Эльбрус-8С" (E8C-uATX/SE и E8C-EATX). В данных модулях удален процессорный блок. Общая схема компонентов модулей форм-фактора uATX представлена на рисунке 6.1:

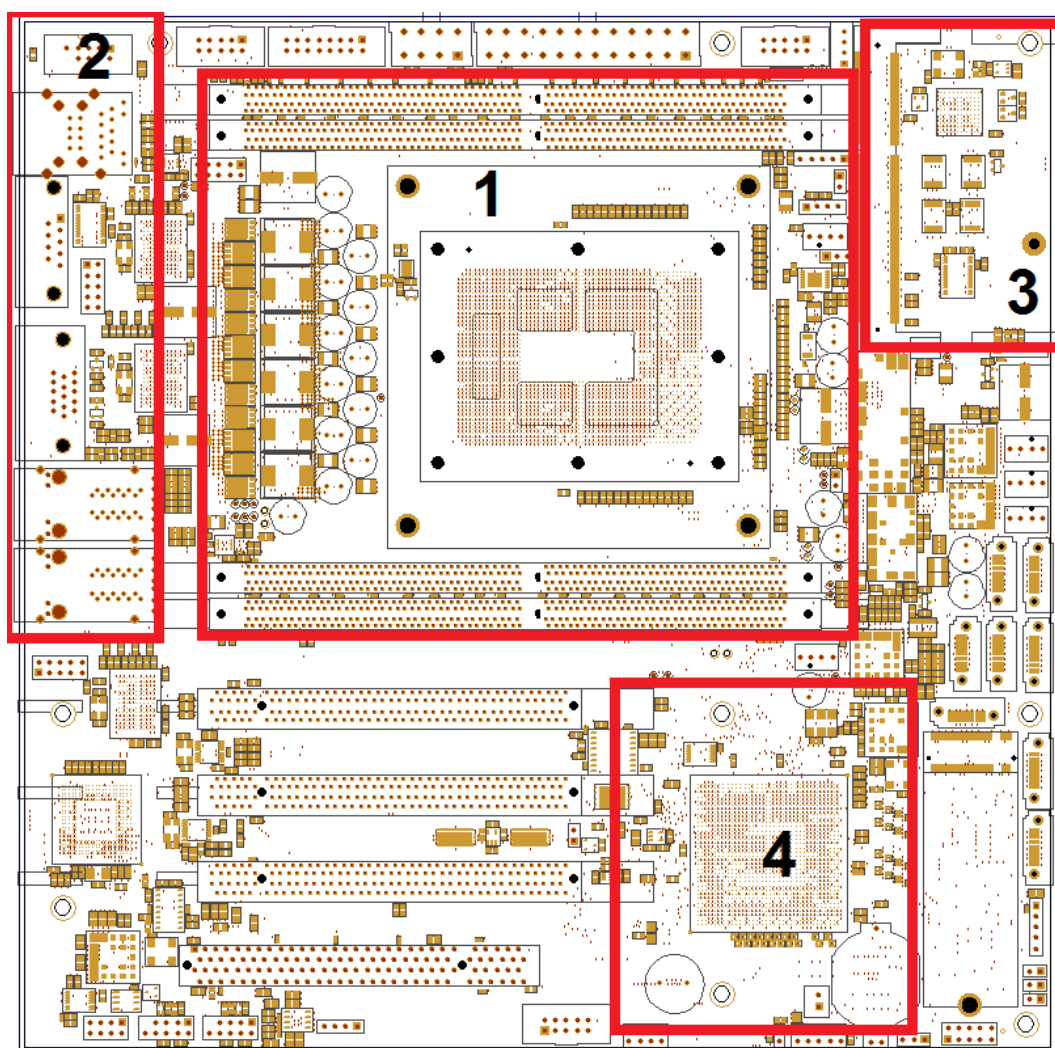


Рис. 6.1 – Расположение

На рисунке изображены: 1 – процессорный блок; 2 – блок соединителей задней панели; 3 – соединитель МУС; 4 – контроллер периферийных интерфейсов КПИ-2.

В обоих модулях выбрана структура из 14 слоев, из которых 6 сигнальных. Структура представлена на рис. 6.2:

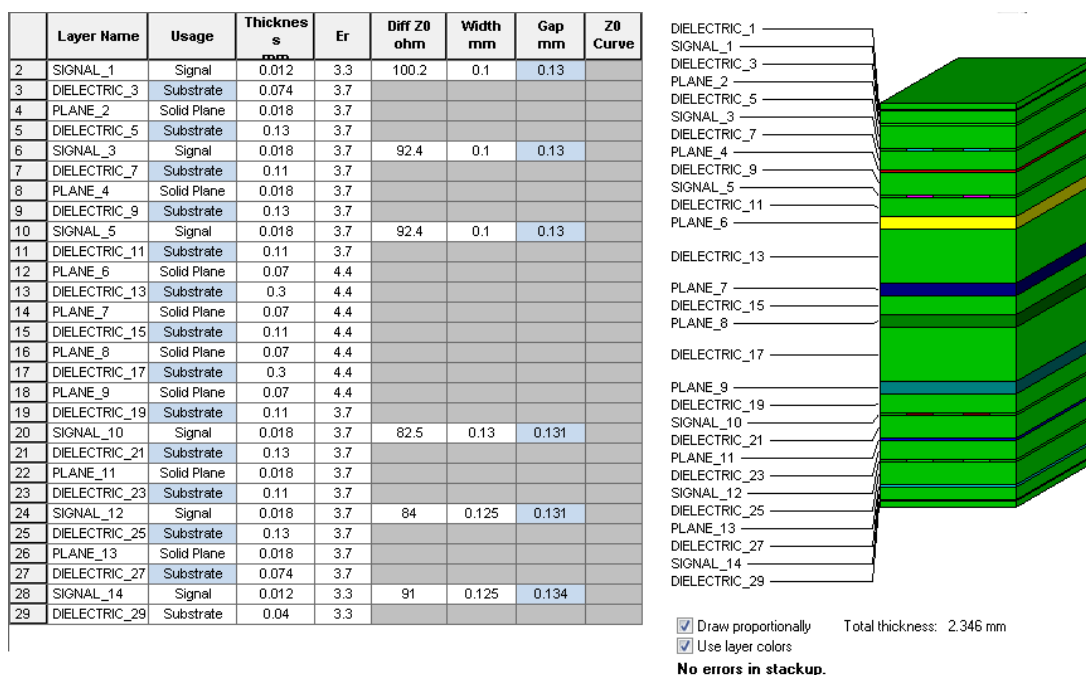


Рис. 6.2 – Структура платы двухпроцессорного модуля E8C2-EATX

В однопроцессорном модуле использована аналогичная структура. Расчетное волновое сопротивление 50-55Ом для одиночных сигналов, 92-100Ом для дифференциальных пар - межпроцессорных линков и линков ввода-вывода, 82,5 - 90Ом для остальных диффпар.

### 6.1.2 Процессорный блок

В обоих модулях разработан процессорный блок. В uATX компоненты процессорного блока размещались на самой плате. В EATX отдельно от модуля разработан типовой процессорный блок, который установлен на модуль в двух экземплярах. Требовалось ограничить типовой блок размерами блока на процессоре ”Эльбрус-8С”. Типовой блок представлен на рис. 6.3

В составе типового блока установлены: микропроцессор, 4 соединителя модулей памяти, всего по 1 модулю на канал, система питания микропроцессора, генераторы синхросигнала микропроцессора. Произведена трассировка процессорного блока. Блок установлен на модуль.



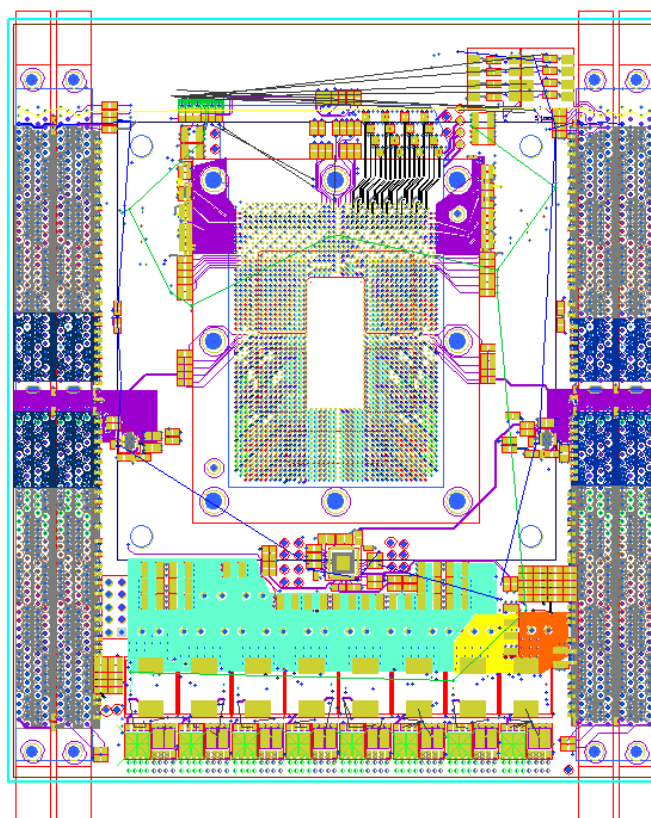


Рис. 6.3 – Типовой процессорный блок м.п. "Эльбрус-8С2"

Установлены точки подключения внешнего генератора синхросигнала для исследования подачи синхросигнала разных частот на микропроцессор. Точки съема представлены на рисунке 6.4:

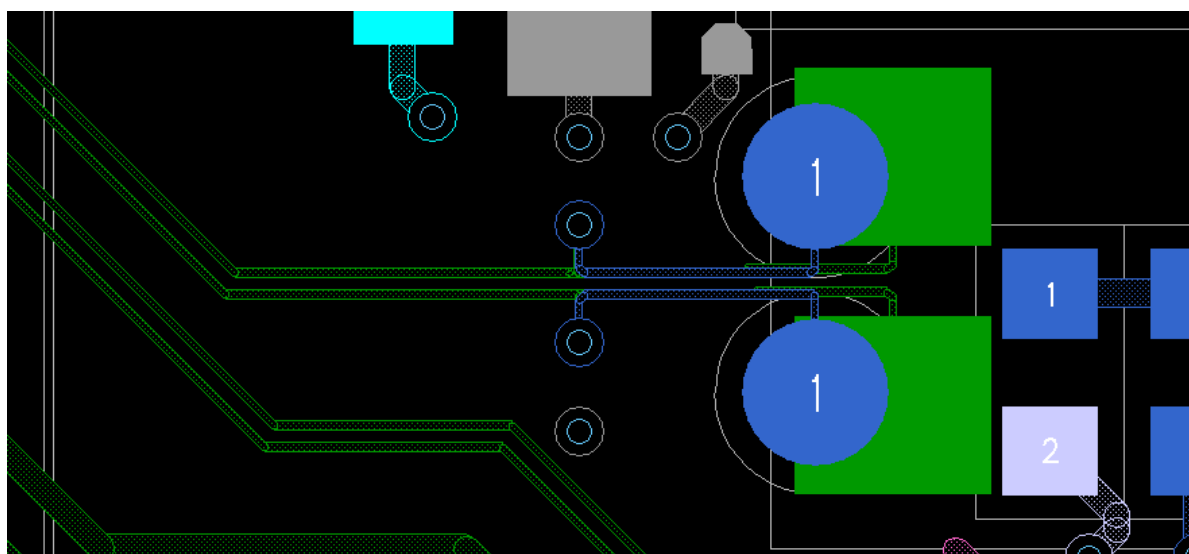


Рис. 6.4 – Точки подключения синхросигнала

Здесь зеленым отмечены диффпара синхросигнала и контактные площадки генератора синхросигнала на нижнем слое. Синим отмечены контактные площадки и отверстия синхросигнала.

Испытания показали, что проблемы высокочастотных сигналов возникают из-за нарушений в линии (стабы и спейсинги) и помехи в линии (при переходе на другой слой).

В предыдущих модулях на микропроцессоре "Эльбрус-8С2" линии памяти DDR4 сопровождалась только землей. Так как в соединителе памяти некоторые линии сопровождаются только землей, а некоторые только питанием, в модуле E8C2-uATX/SE решено сопроводить линии памяти и землей, и питанием. Получившаяся структура платы в области памяти показана на рис. 6.5:

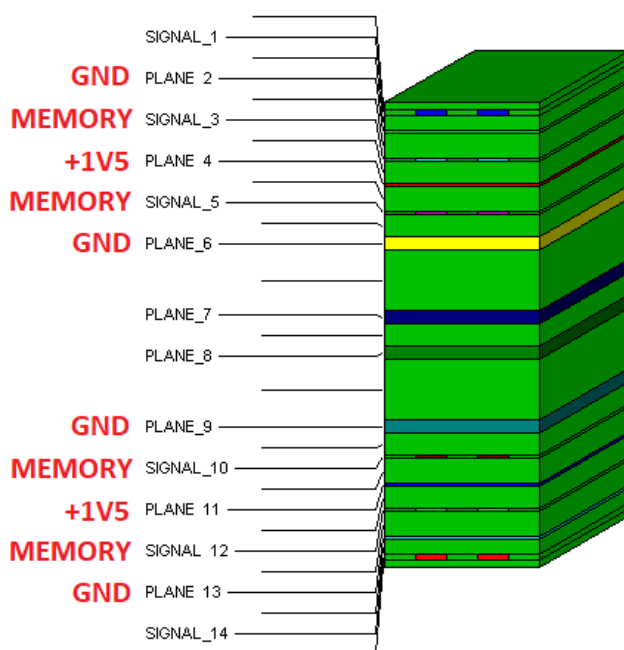


Рис. 6.5 – Структура платы E8C2-uATX/SE в области памяти

В модуле E8C2-EATX линии памяти DDR4, оттрассированные на внутренних слоях, сопровождаются полигонами питания памяти +1V2 и земли GND на всем протяжении трасс от микропроцессора до соединителей памяти. Так как в соединителе памяти линии данных сопровождаются только землей, а линии адреса только питанием, возникает разрыв в сопровождении данных линий. Для

уменьшения влияния данного разрыва решено установить разрыв возле соединителей памяти, как представлено на рис. 6.6:

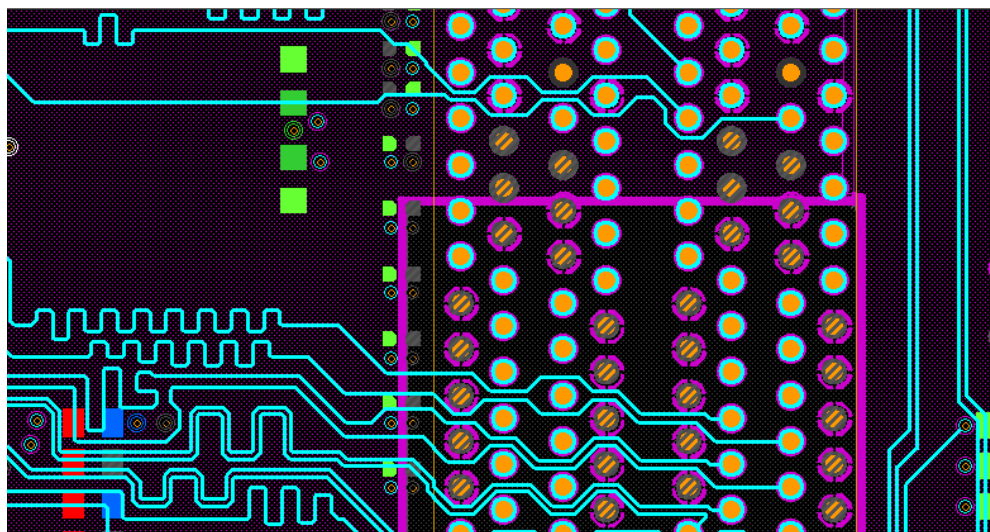


Рис. 6.6 – Разрыв полигонов сопровождения памяти

Перед планками памяти осуществляется разрыв, на котором установлены высокочастотные конденсаторы (зеленые и серые контактные площадки). Под планками памяти (после разрыва) линии адреса сопровождаются только полигонами питания (лиловый цвет), а линии данных только землей (темно-серый цвет). Таким образом уменьшено влияние разрыва.

### 6.1.3 Полигоны питания

В модулях были начерчены полигоны питания на слоях питания. Средствами САПР фирмы Mentor Graphics – Hyperlynx произведен анализ полигонов и получены данные по падению напряжения на полигонах. На рис. 6.7 представлено графическая визуализация падения питания ядра микропроцессора в модуле E8C2-иАТХ/SE, проведенного на трех слоях: 1, 6 и 7:

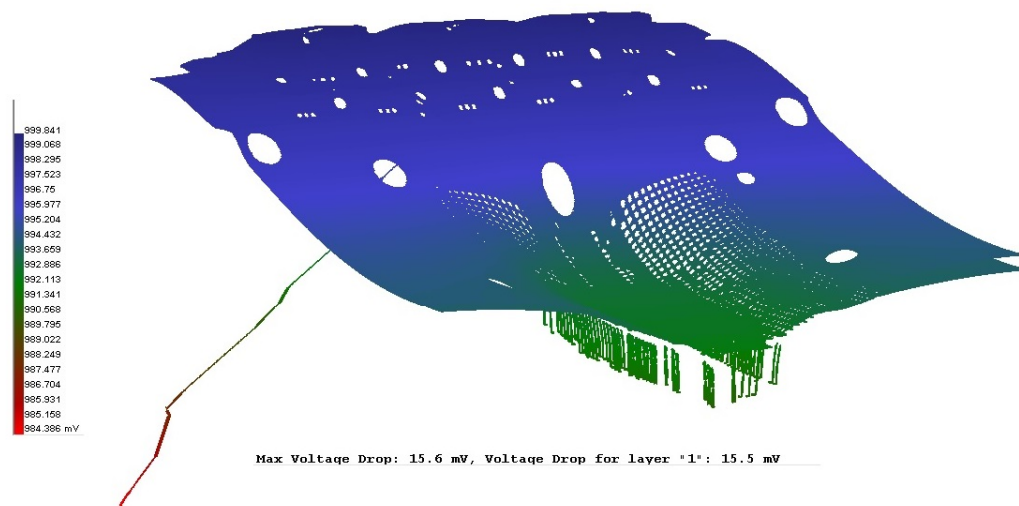


Рис. 6.7 – Анализ падения напряжения питания ядра

Получено максимальное падение напряжения в 15,6мВ, что является допустимым значением.

#### 6.1.4 Интерфейсы

В интерфейсах PCI Express, USB, IOLink, IPLink, представленных дифференциальными парами, для устранения влияния помех, добавлено сопровождение отверстий данных интерфейсов отверстиями земли. Пример реализации представлен на рисунке 6.8:

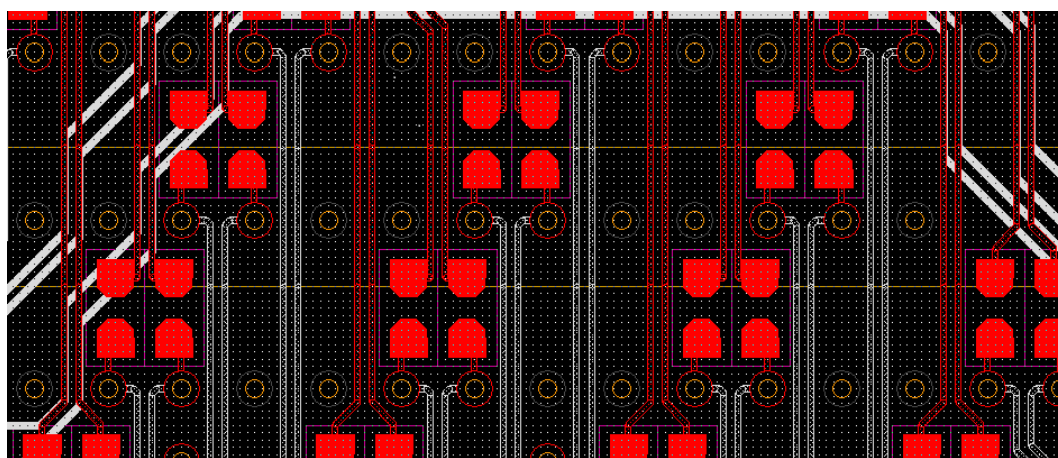


Рис. 6.8 – Сопровождение отверстий интерфейсов отверстиями земли

Здесь серым указаны отверстия земли, красным – отверстия диффпар и трассы диффпар на одном слое, белым – на другом слое.

### 6.1.5 Точки съема напряжения

На модулях установлены точки съема напряжений питания ядра с разных точек и других номиналов, как описано в главе 2.4 на стр. 12. Точки съема на модуле E8C2-иATX/SE представлены на рис. 6.9:

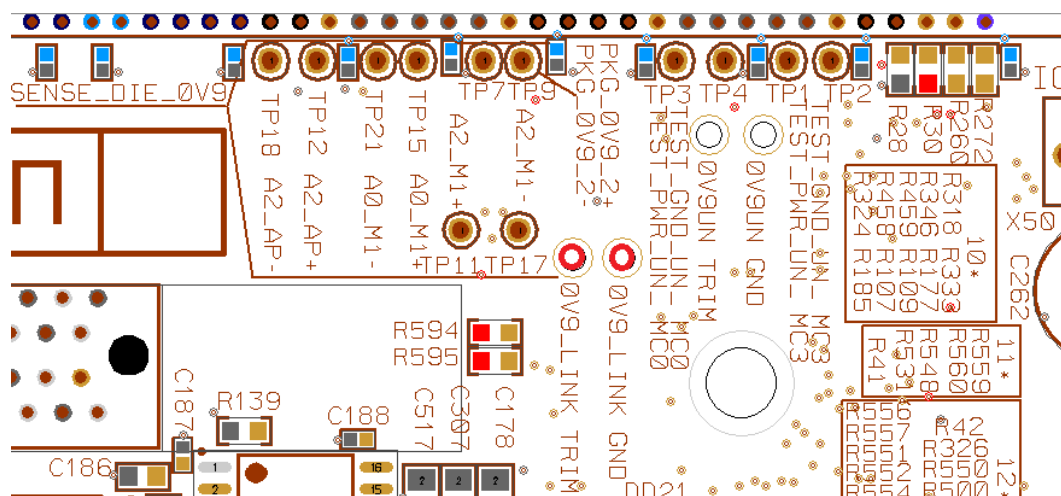


Рис. 6.9 – Точки съема напряжения

### 6.2 Проведение DRC

Настроены параметры поиска ошибок DRC. В результате проведения DRC исправлены нарушения технологических норм по размещению на расстоянии меньше допустимого: компонентов относительно друг друга, трасс относительно друг друга и контактных площадок, расположению компонентов в недопустимых зонах, короткого замыкания и др.

Сверены электрическая схема, размещение и трассировка с документацией на компоненты.

### 6.3 Генерирование файлов и создание КД

Сгенерированы следующие файлы, назначение которых указано в разделе о маршруте проектирования 3 на стр. 16

- BOM-файл;
- Gerber-файл;
- DXF-файлы;
- файлы NCDrill;
- vb\_ais и gencad.cad.

Данные файлы отправлены на завод для производства платы модуля.

Созданная на основе этих файлов и электрической схемы конструкторская документация проверена и использована для закупки и монтажа компонентов.

## 7 РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ

В данном разделе представлены этапы разработки модуля МУС.

### 7.1 Основные ограничения

Модуль управления системой МУС-А построен на основе микросхемы Aspeed AST2400, поэтому все интерфейсы, функции и даже микросхемы указаны в документации на микросхему. Требуется выбрать необходимые интерфейсы и сопутствующие микросхемы модуля.

Памятью микросхемы AST2400 выбрана микросхема типа DDR3.

Схематически интерфейсы и микросхемы модуля представлены на функциональной схеме – рисунке 7.1:

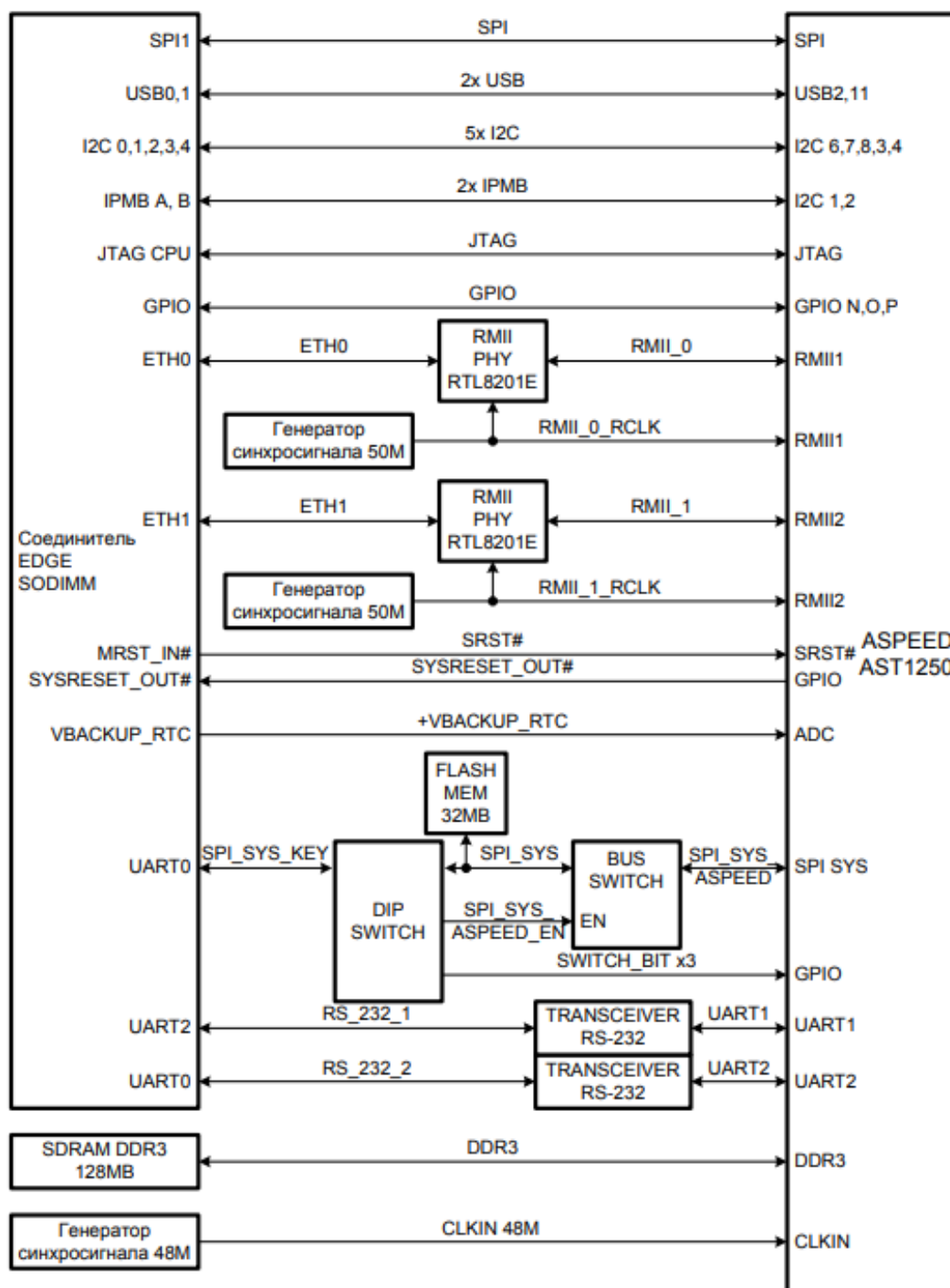


Рис. 7.1 – Схема модуля управления системой

Входные номиналы системы питания модуля - стартовые номиналы платы +5V\_SB и +3V3\_SUS. Было решено получать внутренние номиналы из входного номинала +3V3\_SUS (далее в этой главе +3V3).

Микросхема AST2400 требует входные напряжения:

- +3V3 (3,3В, 0,19А);
- +1V26 (1,26В, 0,77А);



- +1V5 (1,54В, 0,45А), питание подсистемы памяти AST2400 и микросхемы DDR3.

Кроме того в модуле применены следующие потребители напряжения:

- 2 микросхемы физуровня RМII, с входным номиналом +3V3, потребляющие 0,1А;
- 3 генератора синхросигнала (+3V3, 0,01-0,03А);
- 2 микросхемы физуровня RS-232 MAX3243EIPW (+3V3, 0,06А);
- 1 микросхема флеш-памяти SPI (+3V3, 0,1А).

Исходя из этих данных для получения номиналов +1V26 и +1V5 требуется установка линейный преобразователей напряжения.

Общая схема системы питания показана на рисунке 7.2



Ранее были рассмотрены линейные преобразователи в таблице 4.2. Из них выбран линейный преобразователь MAX8527EUD+.

Микросхема поддерживает физуровни Ethernet стандартов RGMII и RMII. В модуле PPMM-700R, с которым должен быть совместим разрабатываемый МУС, имеется два интерфейса RMII, поэтому выбор среди микросхем физуровня Ethernet следует производить для данного стандарта.

В документации представлены следующие микросхемы PHY RMII, работоспособность которых с данной микросхемой была подтверждена:

Таблица 7.4 – Допустимые физуровни RMII

| Номер микросхемы           | Broadcom BCM5221 | Realtek RTL8201E | Realtek RTL8201F | Intel I210 | Intel I350 | Micrel KSZ8021 |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------|----------------|
| Количество физуровней RMII | 1                | 1                | 1                | 1          | 4          | 1              |
| Цена, \$                   | 4                | 1                | 1,8              | 4          | 10         | 2              |

Выбрана наиболее дешевая микросхема RTL8201EL-VC-GR.

Среди микросхем памяти была выбрана микросхема Samsung K4B1G1646G, 128МБ в связи с возможностью скорой поставки. Она может быть заменена микросхемой Samsung K4B1G1646I или аналогичной.

На вход синхросигнала микросхемы AST2400 требуется подавать синхросигнал с частотой 24, 48 или 25 МГц. В случае подачи 25МГц требуется отдельный синхросигнал для интерфейса USB. Выбран Epson SG-8002CA-48.0000-PC-M с частотой 48МГц.

На вход микросхем физуровня RMII требуется подать синхросигнал 50МГц. Выбран генератор синхросигнала KXO-V97T 50.0 MHz.

### 7.3 Электрическая схема

При разработке электрической схемы также необходимо воспользоваться руководством по разработке микросхемы AST2400. В нем указаны базовые схемы для микросхемы.

В преобразователях напряжения необходимо произвести расчет сопротивлений обратной связи, задающих выходное напряжение. В МУС применены преобразователи MAX8527EUD+, рассмотренные ранее.

$V_{fb}=0,5V$ ;

Номинал +1V26:

$R_2=2,61k\Omega$ , расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_1 = R_2 \times \left( \frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right) = 3,97k\Omega \quad (7.1)$$

Взят резистор  $R_1=4,02k\Omega$ ; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = V_{FB} \times \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 1,27V \quad (7.2)$$

Номинал +1V54:

$R_2=2,37k\Omega$ , расчет сопротивления для искомого напряжения:

$$R_1 = R_2 \times \left( \frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right) = 4,93k\Omega \quad (7.3)$$

Взят резистор  $R_1=4,99k\Omega$ ; получено выходное напряжение:

$$V_{OUT} = V_{FB} \times \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 1,55V \quad (7.4)$$

Микросхема Aspeed AST2400, как показано на рисунке 7.1, имеет следующие интерфейсы:

- интерфейс памяти DDR3, подключен к микросхеме памяти;
- синхросигнал микросхемы AST2400;
- интерфейс SPI флешки ASPEED, в ней хранится ОПО и СПО МУС;
- интерфейсы I2C управления датчиками, вентиляторами и преобразователями напряжения;

- интерфейс UART1, вход последовательного порта системы;
- интерфейс UART2, выход последовательного порта МУС;
- интерфейсы RМII, Ethernet МУС;
- интерфейс SPI бута, прошивка микросхемы бута или NVRAM;
- SRST# и SYSRESET\_OUT#, сигналы сброса с системы и в систему;
- GPIO, считывание состояния и управление сигналами системы, поданными на GPIO МУС, такими как включение, выключение.

В модуле Pigeon Point PPM-700R не предусмотрено программирование модуля по интерфейсу SPI. Требовалось реализовать такую возможность на имеющихся интерфейсах на существующих платах. Для программирования SPI флешки МУС был выбран интерфейс последовательного порта МУС, который на платах предприятия идет напрямую на 10-пиновый штыревой соединитель, а интерфейс последовательного порта можно урезать до меньшего числа линий (вплоть до 3х).

В итоге было выведено 4 сигнала SPI (CS#, MOSI, MISO, SCK) и 4 сигнала последовательного порта (RXD, TXD, RTS#, CTS#). Для изоляции флеш-памяти от возможной подачи сигналов последовательного порта уровня RS-232 (-12В; +12В) был установлен микропереключатель, ключи которого необходимо устанавливать в активное состояние только при программировании МУС. При этом один ключ отключает интерфейс SPI микросхемы AST2400 от флеш-памяти для предотвращения обращений к флешке из разных источников одновременно. Схема интерфейсов представлена на рисунке 7.1.

#### 7.4 Размещение и трассировка, проведение DRC, создание КД

Габариты модуля форм-фактора DDR3 SODIMM 67,6х41,75мм. Толщина регламентируется также стандартом DDR3-SODIMM – 1мм. Выбрана структура в 8 слоев, из которых 4 сигнальных.

Были размещены компоненты и произведена трассировка. Расположение основных компонентов на верхнем и нижнем слое показаны на рисунках 7.3 и 7.4.

Размещение компонентов и трассировка на верхнем слое представлена на рисунке 7.3:

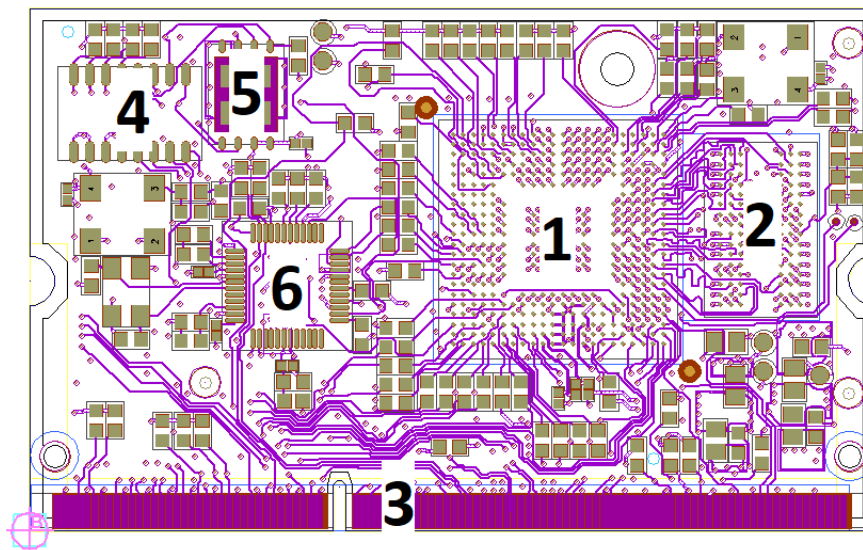


Рис. 7.3 – Верхний слой МУС-А

Здесь: 1 – микросхема Aspeed AST2400; 2 – микросхема памяти DDR3; 3 – внешний соединитель МУС; 4 – микропереключатель МУС; 5 – флеш-память SPI МУС; 6 – физуровень RMII Eth1 Realtek RTL8201EL.

Размещение компонентов и трассировка на нижнем слое представлена на рисунке 7.4:

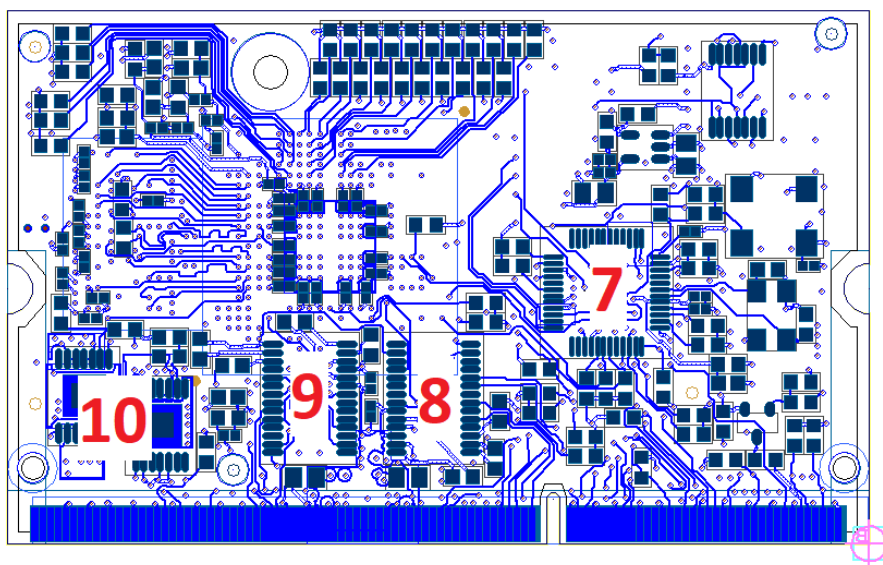


Рис. 7.4 – Нижний слой МУС-А

Здесь: 7 – физуровень RМII Eth0 Realtek RTL8201EL; 8 – физуровень RS-232 последовательного порта МУС; 9 – физуровень RS-232 последовательного порта управляемой системы; 10 – преобразователи напряжения МУС.

Данный модуль произведен и получен. Проведена наладка модуля, модуль показал свою работоспособность.

Установленный на плате модуль представлен на рисунке 7.5:

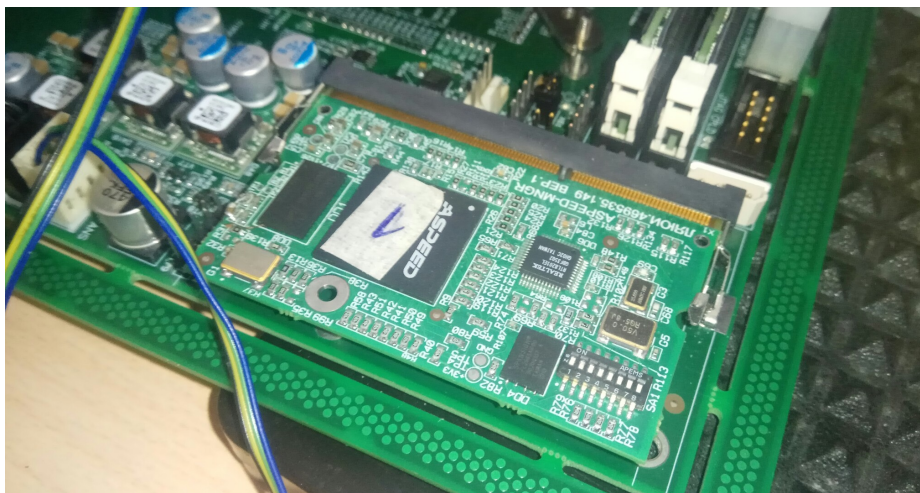


Рис. 7.5 – МУС-А, установленный на плату

Проведено DRC, которое выявило технологические ошибки при разработке. Ошибки исправлены. Также модуль проверен на соответствие документации на микросхему AST2400.

Сгенерированы финальные файлы, которые были предоставлены для создания КД и отправки на завод.

Созданная КД проверена. По ней произведена закупка и монтаж компонентов.

## 8 ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ

Программные средства модуля управления созданы на основе проекта Facebook OpenBMC для МУС на основе микросхемы Aspeed AST2400. Данный проект содержит загрузчик U-BOOT, ядро ОС Linux версии 4.1.51 и СПО для модулей управления системой.

Проект OpenBMC в свою очередь основан на проекте Yocto, позволяющем собирать прошивки с загрузчиком и ОС для большого набора архитектур, таких как ARM, MIPS, PowerPC, x86/x86-64 и др. Также проект Yocto предоставляет систему планирования задач и сборки Bitbake.

Итогом создания программных средств МУС является бинарный файл, содержащий образ загрузчика, ядра ОС и файловой системы.

### 8.1 Проект Yocto

Проект Yocto и все построенные на его основе проекты используют определенный способ описания сборки с использованием метаданных.

#### 8.1.1 Определения

- Метаданные – файлы, которые Bitbake парсит при сборке образа. Метаданные включают в себя рецепты, классы и конфигурационные файлы;
- Рецепты (.bb файлы) – набор инструкций для сборки пакетов. Они описывают, где находится исходный код и какие патчи применять. Также описывают зависимости для библиотек, содержат параметры конфигурации и компиляции. `recipe-name`;
- Слой – набор рецептов по какому-либо признаку, например слой ядра, слой пакета поддержки платы и слой приложений. Обозначается `meta-name`;
- Файлы классов (.bbclass) – файлы, обеспечивающие логическую инкапсуляцию и наследование рецептов;



- Файлы конфигурации (.conf) – файлы, в которых заданы глобальные переменные.

Для сборки под другую целевую архитектуру в Yocto Project используется кросс-компилятор Cross-Development Toolchain (gcc-cross, binutils-cross и др.), а также QuickEMUlator (QEMU) для моделирования целевого оборудования.

### 8.1.2 Создание рецепта

Для создания рецепта проделаны следующие действия:

- Создание рецепта в подходящем слое и наборе рецептов
- Необходимо задать определенное имя: `recipe_name_version.bb`.
- Рецепт указывает, как получить исходные файлы через `SRC_URI` переменную.
- Задача `do_fetch` ищет файлы и запускает `do_patch`. Файл желательно называть так же, как и рецепт, иначе надо указывать путь до файла.
- Задача `do_patch` ищет файлы `.patch` или `.diff` и применяет исправления, если таковые есть.
- Задача `do_unpack` распаковывает исходный код с указанием места распаковки.
- Любые зависимости времени сборки надо указать в переменной `DEPENDS`
- Есть несколько способов конфигурации в зависимости от построения программного обеспечения.
  - 1) Autotools: конфигурируется с помощью `configure.ac` файла. Рецепт не должен содержать `do_configure` задачу и должен наследовать `autotools` класс.
  - 2) CMake: информация о конфигурации содержится в файле `CMakeLists.txt`. Рецепт должен наследовать `cmake` класс и не должен содержать `do_configure`.
  - 3) Другие: использование `do_configure` в рецепте.
- Задача `do_compile` выполняется после настройки. На этом этапе могут появиться ошибки, которые требуется исправить. В результате будут получены исполняемые файлы.

- Задача `do_install` копирует исполняемые файлы с их иерархией в местоположения, которые будут отражать их расположение на целевом устройстве. Создается структура как на целевом устройстве. В случае конфигурации Autotools или CMake установка производится ими, `do_install` не требуется.
- Задача `do_package` разбивает файлы, полученные в рецепте в логические компоненты., такие как отладочные символы, документацию. Задача гарантирует, что файлы разделены и установлены правильно.

Были созданы и отредактированы рецепты, работающие со скриптом загрузки и GPIO.

### 8.1.3 Программа сборки Bitbake

Сборка программой Bitbake производится следующим образом:

- Производится парсинг и конфигурация метаданных, затем парсинг рецептов.
- Для каждого рецепта строится список целей для рецепта (например, поиск и скачивание файлов, распаковка, компиляция, установка).
- Определяются зависимости между рецептами. Они задаются командами bitbake в самом рецепте.
- Строится список задач. Bitbake определяет какие задачи и в каком порядке он должен выполнять. Bitbake разветвляет потоки для ускорения. Можно задать переменную `BB_NUMBER_THREADS` с числом потоков для ускорения сборки.
- Идет выполнение задач. Задачи могут быть задачами оболочки или Python. Для задачи оболочки Bitbake записывает сценарий оболочки, а затем выполняет его. Для Python Bitbake выполняет задачу внутренне, затем записывает информацию на управляющий терминал.
- Результаты кэшируются, и при пересборке не требуется перевыполнять не измененные задачи.

Сборка программных средств производилась программой Bitbake.

## 8.2 Исходный код прошивки

В исходном проекте OpenBMC предусмотрены дополнительные слои и рецепты в дополнение к проекту Yocto:

- `common` - исходный код пактов и рецептов, используемых в МУС;
- `meta-aspeed` - исходный код драйверов, файлов конфигурации загрузчика и ОС и инструментов для SoC AST2400;
- `meta-facebook` - исходный код драйверов и файлов конфигурации прошивки для конкретного модуля. Данный слой был адаптирован для разработанной МУС.

В слое `meta-facebook/meta-yosemite` добавлены и доработаны рецепты, позволяющие реализовать следующий функционал:

- `rikgpio` - определение необходимых пинов GPIO, их направление (in/out) и значение;
- `rikcgi` - скрипты, позволяющие включать/выключать и перезагружать системный модуль;
- `initsc` - скрипт, выполняемый при запуске и задающий стартовые значения GPIO, запускающий другие скрипты конфигурации;
- `dscan` - задание адресов, по которым будет проведено сканирование устройств I2C;
- `riknet` - скрипт, задающий настройки сети, сохраняющий текущие настройки на флеш-памяти.

В рецепте `rikgpio` отредактирован файл `rikgpio.c`, в нем были прописаны используемые пины GPIO, их направление (вход-выход) и название. Далее в файле представлены следующие функции, конфигурирующие GPIO: `gpio_num` (получение номера GPIO в программных средствах по номеру его пина), `gpio_export` (создание GPIO в ПС), `gpio_set_direction` (устанавливает направление GPIO) и `gpio_set_value` (устанавливает выходное значение).

В рецепте `initsc` прописаны начальные значения пинов GPIO, а также запущен скрипт `netconf-script.sh` из рецепта `riknet`.

В рецепте riksgi в трех скриптах прописаны алгоритмы установки значений в GPIO для эмуляции кнопки включения и перезагрузки. Скрипт `server_pwrbut_s.sh` устанавливает GPIO №109, подключенный к кнопке включения питания, в направление "выход", затем устанавливает его в "0", делает паузу 1 сек., и устанавливает "1". После чего задается направление "вход". Скрипт более долгого нажатия `server_pwrbut_h.sh` выполняет то же самое, но делает паузу 5 сек., что приводит к гарантированному выключению. Скрипт `server_reset.sh` устанавливает GPIO сигнала сброса в "0", затем возвращает "1".

В рецепте riknet файл `netconf-script.sh` считывает заданные ранее адреса IP и MAC с флешки, если их нет, создает на флешке файл с ними и прописывает стандартные. Также есть файл `net.conf.example` – пример файла конфигурации, в котором прописано начальное значение `net.conf`.

В рецепте dscan в файле `dscan.conf` указаны I2C адреса, устройства и шины, по которым следует производить поиск I2C устройств.

Также выкачан исходный код ОС Linux и загрузчик U-BOOT для OpenBMC. В загрузчике произведена замена последовательного порта со стандартного на примененный в МУС. В ОС включены необходимые модули и поправлен драйвер MAC Ethernet.

Для настройки загрузчика и ОС их исходный код требуется загрузить. В папке сборки прошивки 8.3 необходимо выполнить:

```
$ devtool modify u-boot
$ devtool modify linux-aspeed
```

Последовательный порт ОС задается в файле `./meta-facebook/meta-yosemite/recipes-core/sysvinit/sysvinit-inittab_%.bbappend`

### 8.3 Сборка программных средств

Сборка программных средств МУС производится утилитой Bitbake. Для сборки необходимо открыть рабочую директорию проекта и выполнить следующие действия:

```
$ source yo
```

Рабочей директрией станет ./build.

В машине с файловой системой nfs необходимо задать место для сборки с другой файловой системой. Для этого в файле ./conf/local.conf необходимо дописать строку TMPDIR = "/ address /tmp/Yocto".

Далее задание последовательного порта модуля (№2)

```
$ devtool modify u-boot  
$ cd workspace/sources/u-boot  
$ grep 'ttyS0' -P -R -I -l * | xargs sed -i 's/ttyS0/ttyS2/g'  
$ cd ../../../../
```

Парсинг всех рецептов и сборка запускаются командой

```
$ bitbake yosemite-image
```

## 8.4 Работа с программными средствами

Системным модулем, системой или управляемым модулем называется модуль, в который установлен рассматриваемый МУС. МУС предназначен для проведения действий с системным модулем. При этом системный модуль может быть выключен, достаточно подать на него питание.

Разработанный модуль предоставляет следующий функционал:

- Удаленная работа с МУС по сети;
- Включение, выключение и перезагрузка системного модуля;
- Подключение к последовательному порту системы и работа с консолью системы;
- Работа с I2C устройствами системного модуля.

Подключение к МУС-А осуществляется по последовательному порту МУС( выведен на штыревой соединитель системного модуля), или по локальной сети (один или два интерфейса LAN 10/100 выведены на соединители задней панели системного модуля).

На модуле устанавливаются определенные IP и MAC адреса двух интерфейсов Ethernet. Они могут быть изменены редактированием файла net.conf на флеш-памяти МУС в программных средствах МУС после перезагрузки МУС.

```

# Example network configuration script.

# To set up network: uncomment and edit required fields.

# If a variable is not defined here, network will be configured
# with pre-defined default values
# (see /usr/local/fbpackages/netconf/netconf_script.sh).

#ETH0_ENABLED=yes
#ETH1_ENABLED=no

#MAC0=98:a7:b0:10:00:f0
#MAC1=98:a7:b0:10:00:f1

#IP0=10.0.0.1
#IP1=172.16.10.1

```

Рис. 8.1 – Файл конфигурации IP и MAC net.conf

Пароль учетной записи МУС также сохраняется на флеш-памяти МУС и может быть изменен утилитой passwd-util.

Подключение МУС к последовательному порту системы через порт ttyS1 МУС осуществляется утилитой microcom:

```
microcom -t 100000 -s 115200 /dev/ttyS1
```

Для управления включением/выключением и перезагрузкой были написаны следующие скрипты:

- server\_reset.sh - перезагрузка системы;
- server\_pwrbut\_s.sh короткое нажатие кнопки включения, 1сек.;
- server\_pwrbut\_h.sh длинное нажатие кнопки включения, 5сек.

В состав программных средств включены модули драйверов I2C устройств. Пример подключения и обращения к памяти EEPROM приведен ниже:

```
echo 24c128 0x57 > /sys/bus/i2c/devices/i2c-3/new_device
hexdump C- /sys/bus/i2c/devices/i2c-3/3-0057/eeprom
```

Здесь 3 – шина i2c, 24c128 – устройство i2c, 0x57 – верхние 7 бит адреса в шине.

Реализована возможность подключаться к EEPROM памяти (в примере, устройство 24c128) и термодатчикам (устройство lm96163) согласно их адресам и шинам. Необходимо учесть, что нумерация шин в программных средствах МУС-А изменена относительно шин МУС в электрической схеме системного модуля: Шине 0 МУС на схеме системного модуля соответствует шина 5 в ПС МУС-

А. Представлен полный список соответствия шин (номер на схеме -> номер в программных средствах):

- 0->5;
- 1->6;
- 2->7;
- 3->2;
- 4->3.

На рисунке 8.2 приведен пример работы в консоли разработанного МУС:

```
OpenBMC Release yosemite-9663dec

mus-a login: root
Password:
root@mus-a:~# passwd-util
New password:
Retype password:
Storing Password..done.
root@mus-a:~# server_pwrbut_s.sh
root@mus-a:~# server_reset.sh
root@mus-a:~# microcom -t 100000 -s 115200 /dev/ttyS1
root
Password:
e8c-30 ~# uname -a
Linux e8c-30 3.14.79-13.56-e8c #1 SMP Wed Nov 15 17:38:15 GMT 2017 e2k E8C E8C-uATX/SE v.2 GNU/Linux
e8c-30 ~# exit
logout

e8c-30 login: root@mus-a:~#
root@mus-a:~#
root@mus-a:~# echo 24c128 0x57 > /sys/bus/i2c/devices/i2c-3/new_device
root@mus-a:~# hexdump -C /sys/bus/i2c/devices/i2c-3/3-0057/eeprom
00000000 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff |.....|
*
00004000
root@mus-a:~# echo 0x57 > /sys/bus/i2c/devices/i2c-3/delete_device
root@mus-a:~#
```

Рис. 8.2 – Пример работы в консоли МУС-А

Показаны вход в учетную запись МУС, смена пароля, включение системы, перезагрузка системы, подключение последовательного порта системы, вывод информации системы из-под ее учетной записи, подключение памяти EEPROM и чтение данных.

С удаленной машины реализовано по локальной сети через один из двух интерфейсов LAN 10/100 по ssh. Подключение к МУС осуществляется командой: `ssh <имя хоста или IP-адрес МУС>`

С удалённой машины также реализована возможность подключиться сразу к последовательному порту системного модуля (к порту 2022): `ssh -p 2022 <имя хоста или IP-адрес МУС>`

Порт прямого входа на com-порт управляемой машины (по умолчанию: 2022) меняется в файле `/mnt/data/etc/ssh/sshd_config` (в двух местах: в директиве `Port` и в строке `Match`). `vi /mnt/data/etc/ssh/sshd_config`

Пример работы с МУС с удаленной машины представлен на рисунке 8.3:

```
e8c-30 ~ # ssh 192.168.1.1
The authenticity of host '192.168.1.1 (192.168.1.1)' can't be established.
ECDSA key fingerprint is SHA256:cT3VHY4/TTB4DlqrcagBOWc+bLNcR6GyUVaZueHRYsk.
Are you sure you want to continue connecting (yes/no)? yes
Warning: Permanently added '192.168.1.1' (ECDSA) to the list of known hosts.
root@192.168.1.1's password:
Last login: Thu Jun  6 03:14:43 2019
root@mus-a:~# uname -a
Linux mus-a 4.1.51 #10 Thu Jun 6 13:08:48 MSK 2019 armv5tejl GNU/Linux
root@mus-a:~# exit
logout
Connection to 192.168.1.1 closed.
e8c-30 ~ # ssh -p 2022 192.168.2.1
The authenticity of host '[192.168.2.1]:2022 ([192.168.2.1]:2022)' can't be established.
ECDSA key fingerprint is SHA256:cT3VHY4/TTB4DlqrcagBOWc+bLNcR6GyUVaZueHRYsk.
Are you sure you want to continue connecting (yes/no)? yes
Warning: Permanently added '[192.168.2.1]:2022' (ECDSA) to the list of known hosts.
root@192.168.2.1's password:
root
Password:
e8c-30 ~ # uname -a
Linux e8c-30 3.14.79-13.56-e8c #1 SMP Wed Nov 15 17:38:15 GMT 2017 e2k E8C E8C-uATX/SE v.2 GNU/Linux
e8c-30 ~ # exit
logout

e8c-30 login: Connection to 192.168.2.1 closed.
e8c-30 ~ #
```

Рис. 8.3 – Пример подключения к МУС-А по сети и подключения к последовательному порту системы по сети



## 9 ОПИСАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ. ВНЕДРЕНИЕ

Произведены модули E8C2-uATX/SE. Модули налажены и протестированы. Модули показали работоспособность всех компонентов и интерфейсов. По результатам тестирования памяти DDR4 модули E8C2-uATX/SE показали лучший результат среди модулей на м.п. "Эльбрус-8C2". На рис. 9.1 представлена диаграмма, показывающая область работоспособности по значению Vref (ось Y) и сдвига сигнала DQS (ось X) для частоты 2400МГц:

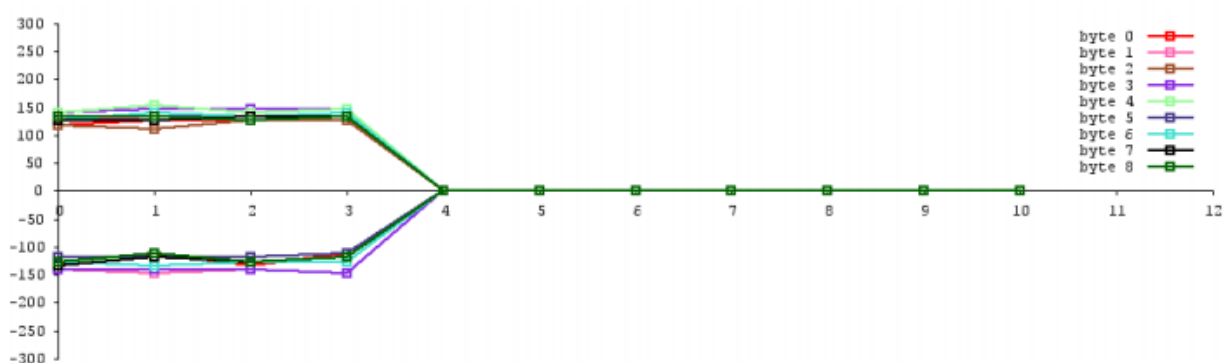


Рис. 9.1 – Диаграмма области работоспособности памяти модуля E8C2-uATX/SE

Рабочая область частот достигла DDR-2416 (2400МГц), по сдвигу сигнала DQS окно работоспособности в 250Пс больше на 20%, чем у других модулей на микропроцессоре "Эльбрус-8C2".

Тестирование характеристик памяти модуля E8C2-EATX еще не проведено.

Во второй версии потребовались следующие доработки:

- заменен преобразователь напряжения питания подсистемы памяти на преобразователь с большим максимальным током, с 20А на 40А;
- разделено питание разных каналов памяти PWR\_MCx\_VREF\_OUT;
- выводы земли на штыревых соединителях USB отключены от CHASSIS;
- пины генераторов синхросигнала утянуты к земле;
- после исследования задано напряжения питания ядра – 1,05В, +0V9\_UNCORE – 1В.

Во второй версии проведены данные доработки.

Модуль E8C2-EATX также произведен, налажен и протестирован. В модуле высокая плотность компонентов возле микропроцессора не позволяет устанавливать все типы радиаторов. Модули показали работоспособность всех компонентов и интерфейсов. Данный недостаток будет устранен во второй версии.

Модуль МУС-А произведен, налажен и протестирован. Проведены следующие доработки: удален источник напряжения физуровней Ethernet на 1,2В, т.к. в физуровнях имеется встроенный источник. Также от пина сигнала сброса микросхемы памяти отключен сигнал сброса уровня 3,3В. Вывод утянут к питанию уровня 1,5В.

В модуле МУС-А проведены работы по разработке и доработке программных средств. Программные средства предоставляют требуемый функционал.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы:

- разработан однопроцессорный и двухпроцессорный серверные модули на микропроцессоре «Эльбрус-8С2» в форм-факторах Micro ATX и Extended ATX и реализован на модулях функционал для наладки;
- разработан модуль управления системой МУС-А в форм-факторе DDR3 SODIMM, совместимый с используемым на предприятии МУП фирмы Pigeon Point PPMM-700R;
- адаптированы программные средства для микросхемы Aspeed AST2400 для разработанного МУС-А;
- разработанные серверные модули налажены, протестированы и успешно прошли испытания;
- подготовлены данные для создания КД, ПД и ТД к модулям.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Windows Server Administration Fundamentals. Microsoft Official Academic Course [Электронный ресурс] // Oracle Россия URL: <https://docentinrete.files.wordpress.com/2012/05/manuale-2008-98-365-windowsserver.pdf> (дата обращения: 10.06.2019)
2. Плата управления сервером — зачем она и что внутри, maxf75 [Электронный ресурс] // Habr.com URL: <https://habr.com/ru/company/yadro/blog/311440/> (дата обращения: 10.06.2019)
3. Tier: microATX Motherboard Interface Specification Version 1.2 [Электронный ресурс] // URL: [https://doc.xdevs.com/docs/\\_PC\\_HW/Form\\_factors/matxspe1.2.pdf](https://doc.xdevs.com/docs/_PC_HW/Form_factors/matxspe1.2.pdf) (дата обращения: 10.06.2019)
4. Tier: Diodes AP3771 Datasheet [Электронный ресурс] // URL: [https://doc.xdevs.com/docs/\\_PC\\_HW/Form\\_factors/matxspe1.2.pdf](https://doc.xdevs.com/docs/_PC_HW/Form_factors/matxspe1.2.pdf) (дата обращения: 10.06.2019)
5. Tier: Diodes AP3771 Datasheet [Электронный ресурс] // URL: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP7331.pdf> (дата обращения: 10.06.2019)
6. Maxim Integrated MAX8527 Datasheet [Электронный ресурс] // URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX8526-MAX8528.pdf> (дата обращения: 10.06.2019)
7. General Electrics PDT012 Datasheet [Электронный ресурс] // URL: <http://apps.geindustrial.com/publibrary/checkout/PDT012A0X?TNR=Data%20Sheets|PD> (дата обращения: 10.06.2019)
8. Texas Instruments TPS40140 Datasheet [Электронный ресурс] // URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps40140.pdf> (дата обращения: 10.06.2019)

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ E8C2-UATX/SE И E8C2-EATX

Таблица 9.5 – Параметры модуля E8C2-uATX/SE

| Компонент                       | Параметр  | Значение  |
|---------------------------------|---|---|
| Процессор                       | Количество микросхем интегральных 1891ВМ12Я ТВГИ.431281.023, шт.  | 1   |
|                                 | Архитектура процессора  | Эльбрус-2000 (e2k)  |
|                                 | Динамически потребляемая мощность процессора  | 70 Вт   |
|                                 | Канал ввода-вывода  | «WLink», 1 канал с процессора, до 6,0 Гбит/с по линии, 16 линий |
| Контроллер ввода-вывода         | КПИ-2   | 1991ВГ2Я<br>ТВГИ.431291.002                                     |
| Соединители интерфейсной панели | LAN 10/100/1000 – 3 шт.<br>USB 2.0 – 2 шт.<br>TIA-232-F (DE-9) – 1 шт.<br>VGA (DE-15) – 1 шт.<br>LAN 10/100 модуля удаленного управления – 2 шт.  |   |
| Внутренние соединители          | Serial ATA 3.0 – 8 шт.<br>USB 2.0 – 4 шт.<br>TIA-232-F модуля удаленного управления – 1 шт.<br>Соединитель вентиляторов – 5 шт.<br>24-pin ATX Power – 1 шт.<br>8-pin ATX Power – 1 шт.<br>PCI Express x4 – 1 шт.<br>PCI Express x16 – 1 шт. или PCI Express x8 – 2 шт.<br>PCI 32/66 (5 В) – 1 шт. |   |

|  |  |                             |
|--|--|-----------------------------|
| Оперативная память   | Поддерживаемое кол-во слотов памяти  | 4                           |
|  | Тип модуля памяти  | RDIMM ECC x4/x8 DDR4        |
|  | Количество каналов   | 4                           |
|  | Напряжение питания памяти  | 1,2В                        |
| Графика  | Интерфейс  | аналоговый (VGA)            |
|  | Тип коннектора   | DE-15 (15-контактный D-Sub) |
|  | Разрешение   | 1920 × 1440                 |
|  | Видеопроцессор   | SM718GX160000-AB            |
| Удаленное управление   | Допускается установка модулей удаленного управления:                             |                             |
|  | МУП-АС, фирмы МЦСТ,  |                             |
|  | ChMM-700R (фирма Pigeon Point),  |                             |
|  | Модуль дистанционного мониторинга и управления (ООО Фирма «АНКАД»).              |                             |
|  | Поддерживаются функции управления системой в соответствии со стандартом IPMI 1.5 |                             |
| Программное обеспечение  | Программа начального старта ЛЯЮИ.00655-01  |                             |
| Потребляемая мощность в базовой комплектации изделия, Вт, не более | 140  |                             |
| Форм-фактор  | MicroATX   |                             |
| Габаритные размеры, мм   | 251,2 × 243,8 × 37,5   |                             |

Таблица 9.6 – Параметры модуля E8C2-EATX

| Компонент                       | Параметр  | Значение   |
|---------------------------------|---|--|
| Процессор                       | Количество микросхем интегральных 1891ВМ12Я ТВГИ.431281.023, шт.  | 2  |
|                                 | Архитектура процессора  | Эльбрус-2000 (е2k)   |
|                                 | Динамически потребляемая мощность процессора  | 70 Вт  |
|                                 | Межпроцессорные связи   | «WLink», 1 канал с процессора, до 6,25 Гбит/с по линии, 16 линий |
|                                 | Канал ввода-вывода  | «WLink», 1 канал с процессора, до 6,0 Гбит/с по линии, 16 линий  |
| Контроллер ввода-вывода         | КПИ-2, 2шт.   | 1991ВГ2Я<br>ТВГИ.431291.002                                      |
| Соединители интерфейсной панели | LAN 10/100/1000 – 4 шт.<br>USB 2.0 – 4 шт.<br>TIA-232-F (DE-9) – 1 шт.<br>VGA (DE-15) – 1 шт.<br>LAN 10/100 модуля удаленного управления – 2 шт.  |  |
| Внутренние соединители          | Serial ATA 3.0 – 16 шт.<br>USB 2.0 – 4 шт.<br>TIA-232-F модуля удаленного управления – 1 шт.<br>Соединитель вентиляторов – 7 шт.<br>24-pin ATX Power – 1 шт.<br>8-pin ATX Power – 1 шт.<br>PCI Express x4 – 2 шт.<br>PCI Express x16 – 2 шт. или PCI Express x8 – 4 шт.<br>PCI 32/66 (5 В) – 1 шт.<br>I2C – 1 шт. |  |



|  |  |                             |
|--|--|-----------------------------|
| Оперативная память   | Поддерживаемое кол-во слотов памяти  | 8                           |
|  | Тип модуля памяти  | RDIMM ECC x4/x8 DDR4        |
|  | Количество каналов   | по 4 на процессор           |
|  | Напряжение питания памяти  | 1,2В                        |
| Графика  | Интерфейс  | аналоговый (VGA)            |
|  | Тип коннектора   | DE-15 (15-контактный D-Sub) |
|  | Разрешение   | 1920 × 1440                 |
|  | Видеопроцессор   | SM718GX160000-AB            |
| Удаленное управление   | Допускается установка модулей удаленного управления:                             |                             |
|  | МУП-АС, фирмы МЦСТ,  |                             |
|  | ChMM-700R (фирма Pigeon Point),  |                             |
|  | Модуль дистанционного мониторинга и управления (ООО Фирма «АНКАД»).              |                             |
|  | Поддерживаются функции управления системой в соответствии со стандартом IPMI 1.5 |                             |
| Программное обеспечение  | Программа начального старта ЛЯЮИ.00655-01  |                             |
| Потребляемая мощность в базовой комплектации изделия, Вт, не более | 300  |                             |
| Форм-фактор  | ExtendedATX  |                             |
| Габаритные размеры, мм   | 330,2 × 304,8 × 37,0   |                             |