**ОДЕСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ КОМП’ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Відділення: комп'ютерна інженерія та робототехніка.

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту

молодшого спеціаліста

на тему **АНАЛІЗ СХЕМИ, РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ, РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ІМПУЛЬСНОГО БЛОКА ЖИВЛЕННЯ**



Не забудь вставить рендер!

Виконав: студент ІV курсу, групи 18РТ

Спеціальність **172** – Телекомунікації та радіотехніка кваліфікація - молодший спеціаліст

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Керівник\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Одеса – 2022р.

**ЗМІСТ**

ВСТУП...................................................................................................................4

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....................................................................................8

1.1 Аналіз………………………………................................................................8

1.2……………………………………………….....................................................

2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА ЧАСТИНА.............

2.1………………………………………………………….....................................

2.2………………………………………………………………............................

2.2.1……………………………………………………………………………….

2.2.2 ………………………………………………………………………………

2.3…………………………………………………………………………………

2.4 ………………………………………………………………………………

2.4.1………………………………………………………………………………

2.4.2 ……………………………………………………………………………..

2.4.3 ……………………………………………………………………………...

2.5…………………………………………………………………………………

2.5.1 ………………………………………………………………………………

2.5.2 ………………………………………………………………………………

2.6 ………………………………………………………………………………..

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА…………………………………………………..

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | ДП 172 ПЗ | | | | | |
|  |  |  |  |  |
| Зм. | Лист | № Докум. | Підпис | Дата |
| Розроб. | | Звіренко М.П. |  |  | Розробка багатофункціональної відлагуджувальної плати | Літ. | | | Аркуш | Аркушів |
| Перевір. | | Чумаченко В.Ф. |  |  | Д | П |  | 3 | …… |
|  | |  |  |  | ОФККТ, гр. 18РТ | | | | |
| Н. Контр. | | Бігунова Ю.В. |  |  |
| Затвтверд. | |  |  |  |

3.1 Розрахунок…………………………………………………………………...

3.2 ………………………………………………………………………………..

4 ЗАХОДИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ Й ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА………………………………………………………………….

4.1 Заходи з техніки безпеки………………………………………………….

4.2 Пожежна безпека …………………………………………………………..

4.3 Захист навколишнього середовища при виробництві та експлуатації…

5 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

6 ДОДАТКИ.

6.1 Datasheet на транзистор IRFZ44N…………………………………………

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | ДП 172 ПЗ | Арк.ш |
|  |  |  |  |  | 4 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |

6.2 Технічні умови на трансформатор ТПП 229……………………………..

6.3 Технічні характеристики…………………………………………………..

7. Презентація………………………………………………………………….

**ВСТУП**

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 5 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Метою розробки проекту є створення власної платформи відлагуджу - вальних плат та пристроїв, призначених для навчання майбутніх спеціалістів. Тема є актуальною, оскільки технічне забезпечення коледжів та ВУЗів з боку embedded напрямку м'яко кажучи слабеньке. У той час коли на ринку є дешеві, потужні та сучасні мікроконтролери та мікропроцесори Intel, Allwinner, ST, Nordic, NXP та інших компаній що активно розробляють та підтримують свої продукти, студентам пропонують 8-бітні мікроконтролери ATMega, які можуть бути непоганим рішенням, якби не апаратно платформа Arduino. На мій погляд, як embedded розробника, вона об'єктивно псує навички майбутнього спеціаліста, ховаючи від нього роботу самого мікроконтролеру. Проблема погіршується й спільнотою, яка пропонує для старту використовувати Arduino. Такі проекти або зіткнуться з необхідністю інтеграції коду низького рівня з використанням регістрів та чистого С, або зміни мікроконтролера через нестачу ресурсів.

З іншого боку програма навчання повністю, окрім однієї згадки як представника сімейств інтегральних схем, FPGA. Вони активно використовуються при розробці архітектури інтегральної схеми та моделювання вже існуючих. До того ж вони економічно вигідніші, придбавши одну плату розробника з FPGA з великою кількістю програмованих блоків, комплектом можна отримати багато периферійних мікросхем і розробити досить великий проект, без необхідності купувати велику кількість дискретних мікросхем.

Що пропонується для вирішення цих проблем? Розробка власних плат з використанням актуальних технологій та заохочення і інформування студентів радіотехнічних факультетів про можливість отримати нові навички.

Що буде використано? FPGA Altera Cyclone IV – велика модульна (блоки I/O згруповані у 8 електрично не пов'язаних блоків). Вона необхідна для симуляцій та вивчення роботи мікросхем та мікроконтролерів. При бажанні можливо зконфігурувати власний мікроконтролер усередині мікросхеми. У середині плати використано мікроконтролер фірми ST серії STM32F4 – STM32F407VG. Це потужний мікроконтролер з частотою роботи 168 МГц на основі ядра ARM Cortex-M4. Мікроконтролер підтримує інтерфейси SPI, AURT/USART, CAN, I2C, USB OTG, Ethernet MII/RMII та багато іншого. Вивчення цього мікроконтролера допоможе майбутнім embedded розробникам у працевлаштуванні, оскільки знання цих мікроконтролерів зустрічається у вимогах вакансій. Третьою частиною є ESP32 модуль, який допоможе освоїти стек протоколів WI-FI та BLE.

З додаткового, плата має вбудовані програматори, об'єднані USB-hub контроллером для реалізації філософії "підключив і працюєш". Для реалізації усіх можливостей мікроконтролера STM32F407 реалізовано RMII Ethernet модуль. Система живлення виконана у вигляді окремих блоків живлення для кожної частини схеми задля уникнення впливу одних частни на інші. Живити плату можна як через круглий DC порт, або через USB Type-C порт за допомогою зовнішнього локу живлення, комбіновоного з USB конектором від вашого ПК.

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 6 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

За успішної реалізації проекту є можливість експорту плат у інші навчальні заклади з націнкою, що фінансово допоможе коледжу та може завлекти нові інвістиції до його бюджету.

1. **Загальний розділ**

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 7 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

**1.1 Умови використання**

Плата розробника (інша назва Embedded Developer Starter Kit, або EDSK), має використовуватись як лабораторний стенд. Передбачається встановлення приладу на ніжки (зазвичай з пластику), через заготовлені монтажні отвори по краях виробу. Отвори розроблені з метою використання гвинтів або монтажних елементів з різьбою стандарту M3. EDSK хоч і має досить широкий набір елементів, але підтримує можливість встановлення плат розширення або підключення зовнішньої перефірії. Задля зручності розєм розирення реалізовано через штикровий роз'єм "тато" з кроком 2,54мм. Це популярний формфактор, що використовується у модулях датчиків та популярних платформах, таких як Raspberry Pi. EDSK дозволяє студентам та викладачам створювати наглядні приклади роботи різних технологій, наприклад ствроення та запуск RTOS за допоиогою STM32 та сонфігуратора CubeMX, робота з пакетами Wi-Fi, Bluetooth та Ethernet. Імплементація логічних мікросхем та дебагінг "заліза", імплементація різних архітектур обчислювальних систем.

**1.2 Філософія розробки**

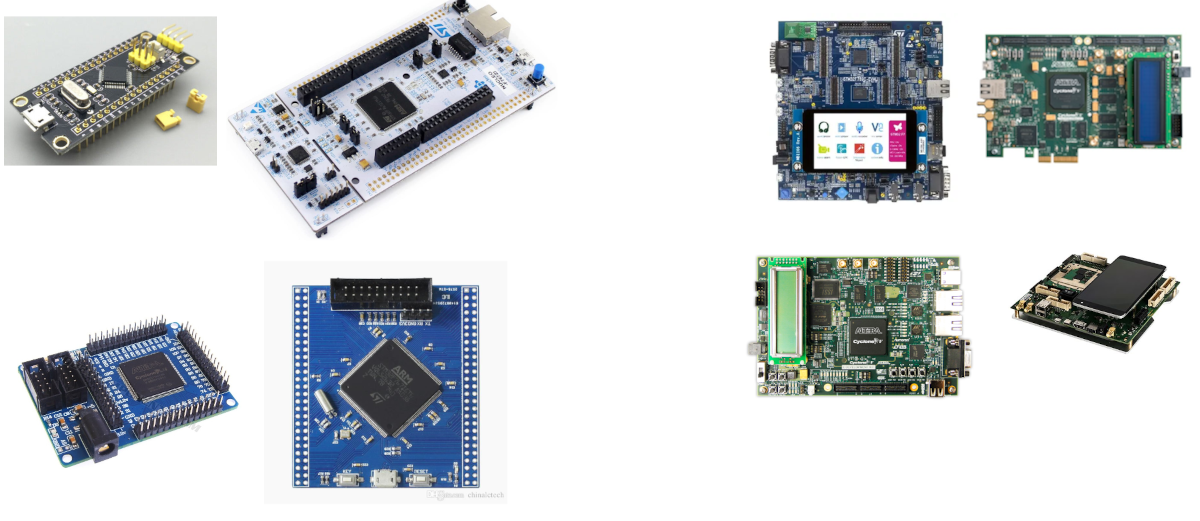
У будь-якого продукту має бути філософія, ідея. У EDSK вона також присутня. Розроблюючи ідею проекту я керувався наступними пунктами:

1. Прилад має вирішувати проблему нестачі сучасного обладнання мого факультету.
2. Проект має надавати можливість працювати з сучасною елементною базою та реалізовувати ідеї настільки швидко, наскільки це можливо.
3. Проект має складатись з мінімуму модулів, або "трансформуватись" у один великий модуль.
4. Проект має стати "proof of concept", тобто довести можливісь створення готової для використання електроніки студентом.
5. Реалізация принципу PAP – plug and play. Тобто підключив і працюєш.
6. Пригодніть використання студентами різного рівня підготовки – від лише працювавших з Arduino, до знавців схемотехніки та мови HDL.

|  |
| --- |
|  |

**1.3 Аналіз ринку**

Сьогодні є досить багато компаній рохробників відлагуджувальних плат. Можна поділити пропозиції на дві групи: прості та професійні. Прості плати зазвичай мають лише сам мікроконтроллер аба SoC, деякі мають реалізований ethernet або додаткову мікросхему пам'яті. Професійні ж окрім усього що має проста плата, мають богато датчиків, мікросхем, портів вводу-виводу, дуже часто мають єкран. Палта розробника SoC Snapdragon має, наприклад, вид відкритого стенду з зовнішнім підключеним сенсорним дісплеєм. Нижче приведені фото простих та профейсійних рішень, наявних у вільному продажі.



|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 8 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Рисунок 1.1 – Приклади відлагуджуваліних плат. Прості ліворуч, професійні праворуч.

Як видно, професійні плати мають набагато ширший функціонал "з коробки". Це, звісно, впливає на ціноутворення, що залежить не тільки від використаної елементної бази, а й від розробника, та ринку збуту. Але про це пізніше.

Різні компанії виробляють різні плати, часто нова плата випускається для молої кількості розробників ПЗ або продуктів. Отримати їх складно, треба звертатися до відділу закупок своєї компанії, або домовлятись про поставки з виробником. Обидва варіанти складні, а одиничне придбання може вийти у копійку, оскілки вартість одного комплекту може сягати 100 долларів США і

вище, не кажучи вже про необхідність придбання программатора або дебагера.

**1.4 Аналіз аналогів**

Під аналогами розуміються доступні на ринку плати з рвзних категорій, що буди використані як складові частини EDSK. Це відлагуджувальна плата STM32 Discovery від ST, китайсікий kit набір з Altera Cyclone IV та Ai-Thinker ESP32 Dev Module. Порівняльна таблиця приведена нижче.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Пункт | STM32 Discovery | Altera Cyclone IV | ESP32 Dev Module | EDSK |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Виробник | ST | Невідомі китайці | Ai-Thinker | Студент ОФККТ |
| Галузь | Embedded | Hardware | IoT, Embedded | Embedded, Hardware, IoT |
| Навички, які розвиває | Знання архітектури ARM, розуміння мікроконтроллерів та мов С та С++, робота з інтерфейсами та перефірією | Розуміння роботи цифрових мікросхем, навички hardware розробника | Знання архітектури ARM, розуміння мікроконтроллерів та мов С та С++, розуміння роботи з перефірією, вступ до IoT | Усі пункти разом |
| Наявність вбудованого програматора та дебагера, тип | Є вбудований SWD программатор-дебагер – ST-Link V2. Можливо підключити зовнішній JTAG дебагер. | Необхідно докупити зовнішній програматор-дебагер | Вбудований USB-UART-TTL перетворювач, виконує роль програматора. Можливо підключити зовнішній JTAG дебагер. | Розташовані на платі програматори ByteBlaster, SWD та CP2102. |
| Ціна та статус виробництва | 600-1500 грн. Знята з виробництва | 1200-1500 грн. Можна знайти як на Aliexpress, так і у локальних магазинах. | 200-300 грн. Можна знайти у більшості радіотехнічних магазинів. | 3000-4000 грн в залежності від тиражу замовлення. |
| Використані технології | ARM Cortex-M4, ETH, RNG, SPI, I2C, CAN, USART та багато інших | Реалізовано багато портів, у тому числі VGA. | Xtensa LX6, реалізовані інтерфейси SPI, UART, SD, I2C. Підтримка WI-FI, Bluetooth classic та BLE | Усі технології наведені лівіше. Додатково використано USB Hub. |

Таблиця 1.1 – Порівняння аналогів

|  |
| --- |
|  |

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 9 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Як видно з таблиці 1.1 EDSK поєднує у собі технології усіх трьох аналогів та поєднує їх у єдиний прилад, який можна підключити та працювати. EDSK підтримує підключення перефірії та плат розширення, що відповіда. Сучасним трендам. Доцільність розробки підкріплюється відсутністю аналогів саме такої комплекації та портебі молодих розробників у простій та ефективній платформі для розробки проектів з використанням різних технологій.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 10 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

1

|  |
| --- |
|  |

**2. РОЗРАХУНКОВА – КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

**2.1 Пояснення структурних та принципових схем**

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 11 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

**2.1.1 Опис структурної схеми**

Структурна схема складається з 4 основних груп:

1. Usb Hub
2. Altera Cyclone IV та перефірія
3. STM32F407VG та перефірія
4. WROOM-ESP32 та перефірія

Кожна група має незалежні лінійні понижувачі напруги, що гарантує відсутність скривлення напруги від однієї мікросхеми до іншої.

До перефірії Usb хабу відносится USB порт, система живлення та необхідні компоненти обв'язки, у тому числі ESD(electrostatis discharge) захист.

До перефірії другого блоку відносяться GPIO(general purpose input-output) порти, порт програмування мікросхеми конфігурації, програматор та його обв'язка.

Блок STM32 пов'язаний, по аналогії з другим блоком, з роз'ємом GPIO, програматором, що виконує також роль дебагера. Додатково реалізована ethernet phy rmii мікросхема з повноцінним ethernet портом, що знаходяться у правій частині плати.

Блок ESP32 має лише USB-TTL перетворювач та порти GPIO.

**2.1.2 Опис блоку USB хабу**

Ядром схкми виступає мікросхема виробництва Texas Instuments TUSB4041I[1]. Це мікросхема контроллера USB хабу з пітримкою протоколу USB 2.0 та додатковим захситом від короткого замикання за допомогою так званого ідеального вимикача. У проекті використано мікросхему TPS2560[2] виробництва Texas Instruments. Це двохканальний ідеальний вимикач. Один канал використано для захисту USB порту зпереду плати, другий для захисту USB OTG приєднаного до STM32. USB порт з переду необхідний за для звільнення зайнятого платою при роботі USB порту робочого комп'ютера.

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 12 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Для захисту від статичної напруги та іскор при підключенні/відключенні USB кабелю використано USB ESP захист USBLC6-P26 виробництва STMicroelectronics. Мікросхема є діодною збіркою та захищає від розряду 15 кВ через повітря та 8 кВ при прямому конакті[3]. Тип USB роз'єму обрано

Type-C через наступні переваги:

1. Уніфікація електроніки – зараз знайти кабель з USB-C легше ніж колись популярний micro Usb.
2. Зручність викорисання – не треба шукати правильне положення роз'єму.
3. Наявність 4 контактів живлення, що дозволяє передавати значно більше енергії, у порівнянні з micro USB.
4. При удосконаленні проекту є можливість додати функціонал USB 3.0.

Присутній лише один мінус – необхідність ускладнення трасування через вимогу до незалежності оріентації положення роз'єму. Обв'язка мікросхеми хабу виконана згідно даташиту[4]. Біля USB роз'єму встановлено запобіжник та діод шотки, що дозволяє приєднувати завнішній блок живлення або живити якийсь модуль без страху спалити комплектний блок живлення. Нижче розміщені лінійні стабілізатори напруги. U1 та U2 необхідні для живлення зовнішніх модулів, а U4 та U5 живлять usb хаб та контроллер ethernet. Обв'язка виконана згідно даташиту[5]. Номінали взяті з даташиту, та підрехтувані для компенсації ємності кондеснаторів біля мікросхем. Оскільки мікросхкма хабу має можливість програмування за допомогою інтерфейсу I2C, відповідні піни виведені до штикрового роз'єму J2. Тактування мікросхеми забезпечує резонатор Y1.

**2.1.3 Опис блоку Altera Cyclone IV**

Ядром блоку виступає FPGA мікросхема Altera Cyclone IV – модель EP4CE6[6]. Обрана вона через доступність та легкість монтажу, оскільки виконана у корпусі TQFP-144. Живлення виконане на мікросхемах U11, U12 та U13. Вони живлять блоки GPIO – 3.3В, логіку мікросхеми пам'яті – 2.5В та ядро мвкросхеми – 1.1В. Біля усіх ніжок живлення на кожній лінії встановленні стабілізуючі конденсатори. Живлення блоків PLL(phase-locked

loop) виконано через LC фільтр для запобігання будь яких перпадів напруги та виключити неставбільну роботу вузла. Усі резисторі біля мікросхеми виконують роль конфігураційних аба підтягуючих джля мікросхеми пам'яті.

Тактування забезпечує генератор X1 з частотою 50 МГц.

Порти GPIO виведені до штиркових роз'ємів J5 та J6.

При старті мікросхема може зчитувать конфігурацію з зовнішньої мвкросхеми пам'яті. Функція реалізована завдяки мікросхемі U15 – EPCS16SI8N[7] та колодки J4, через яку виконується програмування ззовні.

Програкатор виконаний за допомогою мікроконтроллеру STM32F103CB[8]. Обрано його через дешевизну та викоритання у ролі програматора для ще одного блоку. Обв'язка виконана згідно даташита[9]. Живлення виконане на малопотужному лінійному стабілізаторі RT9193[10]. Тактування забезпечує кварцевий генератор Y2 з частотою 8 МГц. Резистори R15 та R16 – необхідні для нормальної роботи мікроконтроллера у штатному режимі. Без низ він перейде у режим загрузчика або буде ігнорувати жвлення. Кнопка SW1 необхідна для екстренного перезавантаження мікроконтроллера. Мікроконтроллер підтримує режим роботи USB Device та з'єднаний за пінми хабу группи USB3.

**2.1.4 Опис блоку STM32F407**

Ядром блоку виступає мікроконтроллер STMicroelectronics STM32F407VG[11] – потужний одноядерний мікроконтроллер на основі ядра Cortex-M4 х максимальною тактовою частотою 168 МГц. Обв'язка виконана за зразком плати STM32F407-Discovery[12] та даташитом[13]. Тактування забезпечують кварцові генератори Y4 та Y5. Y4 з частотою 8 МГц тактує HS шину та PLL, частота обрана через можливість шляхом конфігурування PLL, що доречі зручно робити у конфігураторі CubeMX[14], налаштувати мікроконтролле на досить широкий набір робочих частот. Y5 з частотою 32,768 КГц тактує шину LS, або RTC(real-time clock), тоб-то внутрішні часи. Звісно, можно обрати джерелом тактування вбудовані генератори, але їх надійність надто низька і частота залежить від температури кристалу, що неприпустимо при роботі

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 13 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

над проектом з пробудженням у певний час.

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 14 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Усі GPIO порти виведені до штиркових роз'ємів J9 та J10, що дозволяє товністю конфігурувати мікроконтроллер для будь яких задач. Деякі піни додатково подключені до USB OTG та Ethernet RMII мікросхеми для реалізації широкого функціоналу в умовах проекту.

Кнопки SW4, WS5 та WS6 мають функціональне значення. SW4 дозволяє перейти до вбудованого режиму програмування, якщо программа була пошкоджена та SWD інтерфейс відмовляється працювати. SW5 перезавантажує мікроконтроллер. SW6 виводить мікроконтролле з режиму сну. Конденсатори С90 та С91 наявні за даташитом та виконують роль додаткових ємностей для внутрішньої логіки мікроконтроллера. Живлення виконане на лінійному стабілізаторі U18 - AMS1117-3.3. 3.3 позначає, шо стабілізатор не потребує налаштування та сконфігурований на напругу навантаження 3.3В. Кожна ніжка живлення має свій конденсатор ємністю 0.1 мкФ, що є рекомендацією даташиту. Аналогова частина мікроконтроллера живиться від спліьного з цифровою частиную джерела, але через LC-фільтри. Світлодіод D5 виконує роль індикації живлення блоку. Діоди D6, D7, D8, D9 необхідні для привітання у світі embedded розробників – блимання світлодіодом. Вони тідключені до виводів одного з таймерів мвкроконтроллера, що дозволяє реальзувати декілька візуальних ефектів. Резистори R47 та R48 разом з перемичкою JP1 необхідні для нормальної роботи мікроконтроллера. При нормальному режимі роботи перемичка підтягує пін BOOT1 для нуля. При пдтягуванні до напруги 3.3В, тобто розмиканні перемички, мікроконтроллер буде чекати перезавантаження до бутлоадеру.

Можливість програмування та відладки забезпечує імплементована сфема програматор ST-Link V2.1[15]. Вона є у віддкритому доступі, і кожен має можливість створити свій. Програматор виконано на основі мікроконтроллера STM32F103CB. Принцип роботи схожий на програматор блоку Altera Cyclon, окрім кількох відмінностей.

Блок з транзистором Q1 необхідний для відключення від шини USB з боку контроллера та перепідключення до комп'ютера. Конеуктор J7 необхідний для реалізації віртуального COM-порту, який, до-речі, на платах ST недоступний. У документації до плати виробник пропонує, цитата, "припятися до пінів PA2 та PA3", оскільки віртуальний COM-порт з'явився у ревізії 2.1, коли більшість плат оснащені ревізією 2.0. Світлодіодна збірка D4 виконує індикаціїну функцію – блимає червоним та жеоеним в залежності від режиму роботи. Червоним при програмуванні або зупинці програми для дебагу, та зеленим при роботі. Діод D3 індикує наявність живлення програматора.

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 15 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Програматор підключено до блоку USB2 USB хабу.

Нажаль код програматора є комерційною таємницею. Для роботи програматора необхідно завантажити здамплений з оригінального програматора бінариний файл бутлоадера, спеціально розроблений савме для ціого мікроконтроллера, та через утіліту для Windows/Linux/MacOS прошити необхідний образ. При ціому можна обрати образ без та з віртуальним COM-портом.

Остання частина блоку – мікросхема фізичного рівня Ethernet RMII KSZ8081RNA[16] виробництва Microship. Переваги саме цієї мікросхеми – відсутність режиму MII, що спрощує конфігурування та розуміння даташиту. Інтерфейс RMII обрано через зменшену кількисть необхідних з'єдань через підвищення частоти. Оскільки мікроконтроллер не підтримує деякі апаратні преривання у режимі RMII – їх доведеться організовувати самостійно. Блок резисторів біля мікросхеми – токообмежувальні. Живлення відбувається від блоку usb хабу, а саме від лінійного стабілізатора U5. Додатково, згідно даташиту[17], встановлено ферітові фільтри, оскільки мікросхеми такого типу надчутливі до викривлень напруги. Даташит рекомендує використовувати завнішній магнітний інтерфейс, але оскільки Ethernet порт лише один, цим можна знехтувати. У якості порту використаний звичайние Ethernet порт з вбудованим трансформатором. За непотребою один світлодіод не підключений.

Додатковий функціонал USB OTG реалізовано через USB Type-C за зазначених вище причин. Роз'єм має усі необхідні зажисти для можливості підключення перефірії до працюючого приладу. Як видно за схемою, усі металеві корпуси підключені до загальної землі через бірку д двох конденсаторів та резистора. Конденсатори гасять статичну напругу, а резистор обмежує струм.

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | Лист |
|  |  |  |  |  | 16 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |