

Интерфейсы вычислительных систем

Методические указания и индивидуальные задания
для студентов МПСУ, обучающихся по направлению
«Информатика и вычислительная техника»

Аннотация

Методические указания и индивидуальные задания по дисциплине «Интерфейсы вычислительных систем» предназначены для студентов МПСУ, обучающихся по направлению 09.03.01, «Информатика и вычислительная техника». Данная дисциплина изучается в течение одного семестра.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

В данных методических указаниях по выполнению индивидуального домашнего задания разобран пример, аналогичный предложенным вариантам. Разобран поэтапно ход выполнения работы, приведены рекомендации по выполнению конкретных этапов.

Этап 1. Анализ поставленного задания и разработка структурной схемы

На первом этапе выполнения задания необходимо произвести анализ поставленных требований и выделить структурные блоки будущего устройства, на основании которых будет строиться структурная схема.

Задание: разработать устройство управления «умным» паяльником, соответствующее поставленным требованиям.

Требования:

1. Жало паяльника типоразмера Hakko T12 должно подключаться напрямую к устройству через разъем.
2. Устройство должно управлять питанием паяльника и обеспечивать регулировку температуры и ее удержание на установленном оператором уровне.
3. Питание поступает от источника питания постоянного тока с диапазоном напряжения 4,5...27,0 В и максимальным током 3 А через разъем USB Type-C.
4. Поддержка питания от источников Power Delivery 2.0 и Quick Charge 3.0.
5. Разъем программирования и отладки с интерфейсом SWD
6. Устройство должно иметь собственный загрузчик для обновления прошивки с интерфейсом USB 2.0 Full-Speed
7. Органы управления: кнопка дополнительного нагрева BOOST, датчик для определения активности, устройства ввода для регулировки параметров устройства.
8. Устройство вывода для индикации текущих параметров паяльника.
9. Устройство должно быть выполнено на базе микроконтроллера (МК) фирмы STM32 серии F4.

На основании предъявленных требований выделим следующие структурные блоки:

1. Блок ввода
2. Блок вывода
3. Блок нагрузки
4. Блок питания
5. Блок измерения
6. Блок управления

Разберем каждый из блоков более подробно.

Блок ввода: тактовая кнопка BOOST, датчик наклона, так как его достаточно для определения активности и, например, трехпозиционный боковой переключатель для задания параметров, так как нет конкретных требований к исполнению данного элемента.

Блок вывода: RGB светодиод для индикации режима питания, миниатюрный I2C OLED дисплей с диагональю 0,91 дюйма. Дополнительно добавлен пьезоизлучатель для звукового оповещения пользователя.

Блок нагрузки состоит из схемы для формирования ШИМ сигнала на основе напряжения питания и подачи его на жало. Каких-либо дополнительных элементов для сглаживания ШИМ не потребуется, так как жало имеет достаточную теплоемкость, а цепь обратной связи обеспечивает корректировку коэффициента заполнения ШИМ для поддержания нужной температуры.

Блок питания должен обеспечивать три основных функции: защиту устройства от перенапряжения и короткого замыкания, запрос необходимого напряжения по протоколам Power Delivery 2.0 и Quick Charge 3.0, формирование необходимых вторичных напряжений для питания устройства.

Блок измерения должен обеспечивать обратную связь от жала и от источника питания, поэтому он включает в себя следующие элементы:

- неинвертирующий усилитель на основе операционного усилителя (ОУ) для измерения температуры с помощью встроенной в жало термопары
- специализированный дифференциальный ОУ для измерения тока
- резистивный делитель для измерения напряжения питания

Так как жало Накко T12 имеет датчик температуры на основе термопары, потребуется датчик температуры для компенсации напряжения на холодном спайе термопары, то есть в точке подключения к устройству.

Блок управления: МК STM32 серии F4, обладающий достаточным количеством выводов, периферийных блоков и производительностью для поставленной задачи, энергонезависимая память EEPROM для хранения параметров при отключении питания.

Разработаем предварительную структурную схему. Цвета схемы: блоки, линии связи, текст – черный, фон – белый. Изгиб линий должен составлять 90°. Интерфейсы и напряжения питания должны быть подписаны. Стрелочками указывается направление подачи питания, либо направление передачи данных для интерфейсов. Рекомендуется указывать количество линий для интерфейсов.

Разработанная предварительная структурная схема изображена на рисунке 1.

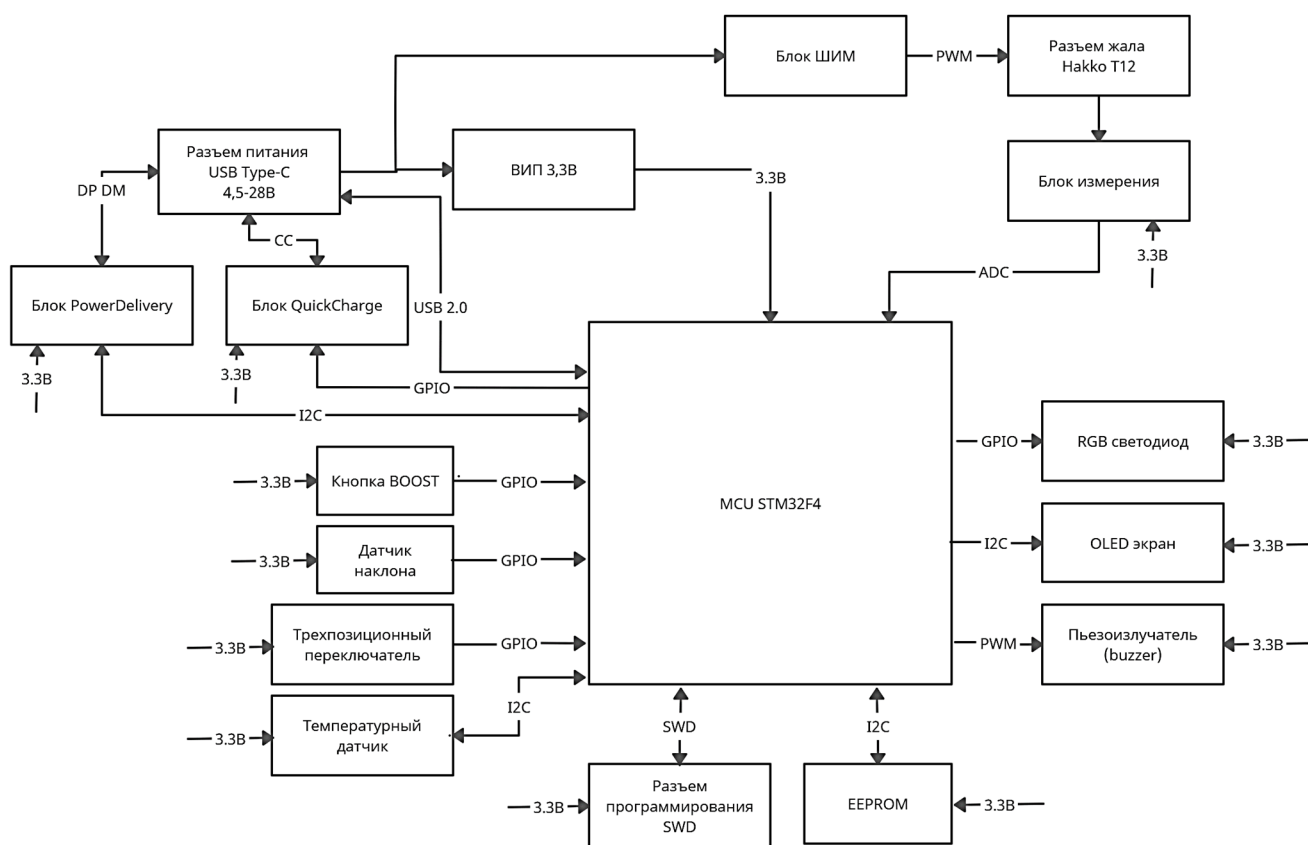


Рисунок 1. Предварительная структурная схема

Этап 2. Выбор электронной компонентной базы

На текущем этапе у нас уже есть предварительная структурная схема устройства, однако ее необходимо уточнить. Для этого проводится выбор электронной компонентной базы (ЭКБ) согласно требованиям задания. Для упрощения выполнения индивидуального домашнего задания, разрешается не учитывать стоимость компонентов при выборе. Однако при оценке необходимо учитывать следующие параметры: соответствие электрических параметров, габаритные размеры. Для упрощения выполнения задания поставлены следующие условия:

1. Компонент должен производиться на момент выдачи варианта задания;
2. Габаритные размеры компонента должны разумно соотноситься с размером устройства. Пример: очевидно, дроссель с габаритами 100x80x80мм не подходит для применения в устройстве управления «умным» паяльником, встраиваемым в его ручку;
3. Разрешается не выбирать конкретные модели следующих компонентов, при условии указания их электрических параметров, необходимых для функционирования устройства:
 - Резисторы
 - Конденсаторы
 - Катушки индуктивности и трансформаторы
 - Диоды, диодные сборки
 - Стабилитроны, TVS диоды
 - Кварцевые резонаторы и генераторы
4. Выбирать номиналы компонентов следует по стандартному ряду значений E96.

Начинать выбор компонентов стоит с разъемов. Нам требуется три: для интерфейса SWD, для питания и интерфейса USB 2.0, для жала Hakko T12. В разбираемом примере, были выбраны следующие разъемы: MINTRON-MTP125-1105S1 для SWD (рисунок 2), Korean Hroparts Elec TYPE-C-31-M-12 для питания и USB (рисунок 3), для крепления жала паяльника были использованы разъемы для установки плавких предохранителей Littelfuse 04450001H (рисунок 4).

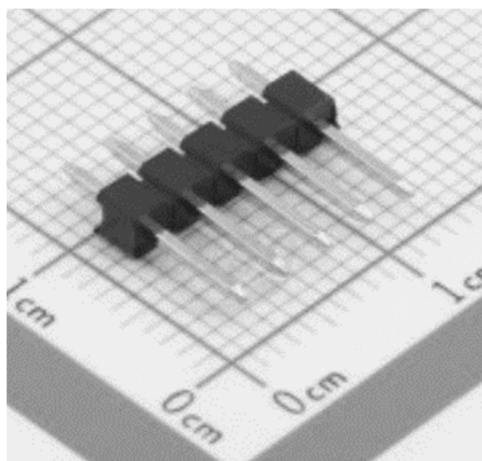


Рисунок 2. Разъем MINTRON-MTP125-1105S1

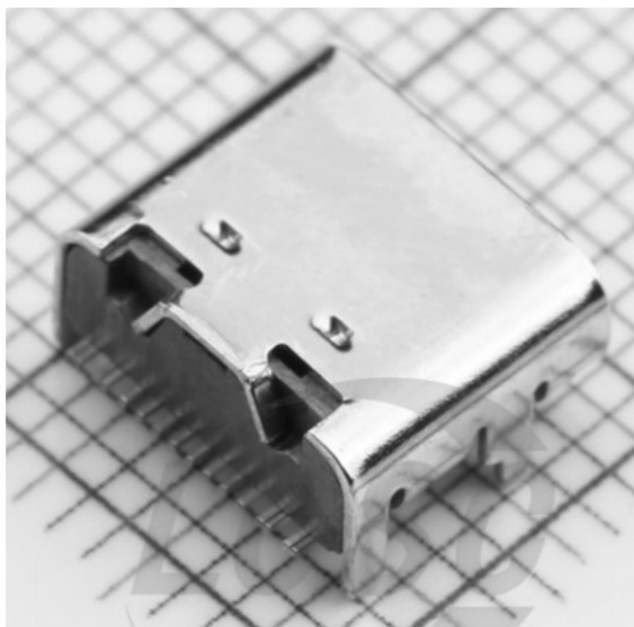


Рисунок 3. Разъем Korean Hroparts Elec TYPE-C-31-M-12

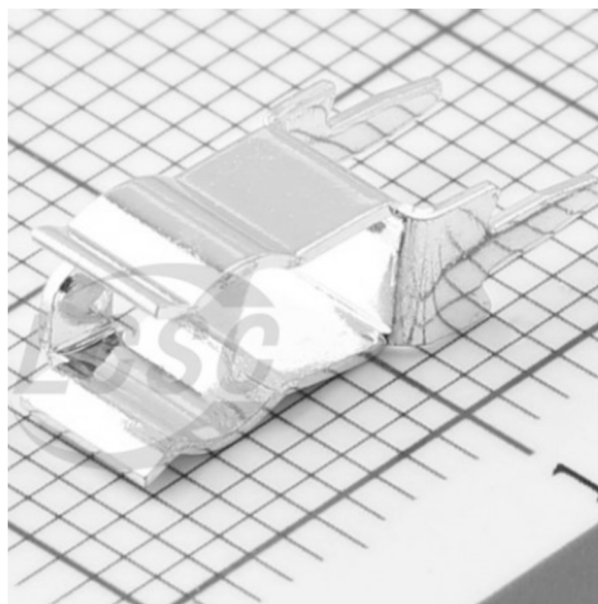


Рисунок 4. Разъем Littelfuse 04450001H

Следующим шагом будет выбор необходимых микросхем и других активных элементов. Разумно производить выбор поблочно, согласно структурной схеме.

Для управления выберем подходящий микроконтроллер. В приведенном примере был выбран STM32F401CBU6. Он имеет достаточное количество выводов (64), объем ОЗУ (64 Кбайт) и ПЗУ (256 Кбайт), необходимые интерфейсы: I2C, USB, SWD. Производительность МК также удовлетворяет требованиям: максимальная частота ядра (CPU) составляет 84 МГц, имеется аппаратный блок для работы с числами с плавающими точкой (FPU). В качестве микросхемы EEPROM была выбрана AT24C02C-STUM-T фирмы Microchip. Для хранения нескольких пользовательских параметров 256 байт будет достаточно.

В блоке вывода применим готовый модуль дисплея OLED-091 на базе контроллера SSD1306, миниатюрный трехцветный (RGB) светодиод типоразмера 3528, например, FM-3528RGBA-HF и пьезоизлучатель HNB09A03.

В блоке ввода 3 основных компонента: датчик наклона SW-18010P, кнопка тактовая боковая TS-1010B-B-A и трехпозиционный тактовый переключатель TM-2023.

В блоке нагрузки для коммутации напряжения на жало применим Р-канальный MOSFET IRF7240TRPBF. Однако GPIO МК недостаточно для управления его затвором, так как максимальный ток через него составляет не более 20 мА согласно спецификации на МК, при этом максимальный ток в моменты переключения транзистора может составлять несколько ампер. Поэтому

будем управлять его затвором не напрямую, а через драйвер на биполярном NPN транзисторе MMBT3904LT1G. Тем не менее, есть еще одна проблема: максимальное напряжение исток-затвор IRF7240TRPBF 20В, а максимальное напряжение питания 27В. Для его ограничения применим стабилитрон, например, BZT52C15. Таким образом при открытии биполярного транзистора, полевой транзистор откроется, а резистор эмиттера биполярного транзистора со стабилитроном образуют параметрический стабилизатор, ограничив напряжения на базе полевого транзистора.

Блок измерения должен измерять 4 параметра: температуру жала (напряжение на термопаре), температуру холодного спая термопары, входное напряжение питания, ток протекающий через жало. Для измерения напряжения с термопары применим rail-to-rail ОУ с достаточной полосой пропускания и околонулевым смещением входного напряжения AD8628. Для измерения температуры холодного спая применим интегрированное решение в виде микросхемы TMP75AIDR. Для измерения тока выберем специализированный ОУ INA180A2 с фиксированным коэффициентом усиления 50В/В. Для измерения напряжения питания будет достаточно резистивного делителя. При этом делитель необходимо рассчитать так, чтобы максимальное напряжение на входе АЦП МК не превышало напряжение его питания (3,3 В).

В блоке питания необходимо применить ВИП для формирования напряжения 3,3В для управляющей части схемы. Так как по заданию требуется импульсный ВИП, а потребление управляющей части схемы не более 1А, выбран TPS54202DDCR. Более того, импульсный ВИП, в отличие от линейного, даст значительно больший КПД, а при грамотном применении фильтрации его выходные характеристики будут мало отличаться от линейного.

Для формирования сигналов протокола Quick Charge применим резистивные делители напряжения, управляемые GPIO микроконтроллера, а для поддержки Power Delivery применим микросхему FUSB302 с управлением по I2C. Для защиты сигнальных линий разъема USB Type-C от разрядов статического электричества (ESD) применим TVS диоды, а для защиты силовой линии выберем стабилитрон с напряжением стабилизации близким к максимальному напряжению питания, например, BZT52C27.

Дополненная структурная схема с учетом выбранных компонентов изображена на рисунке 5.

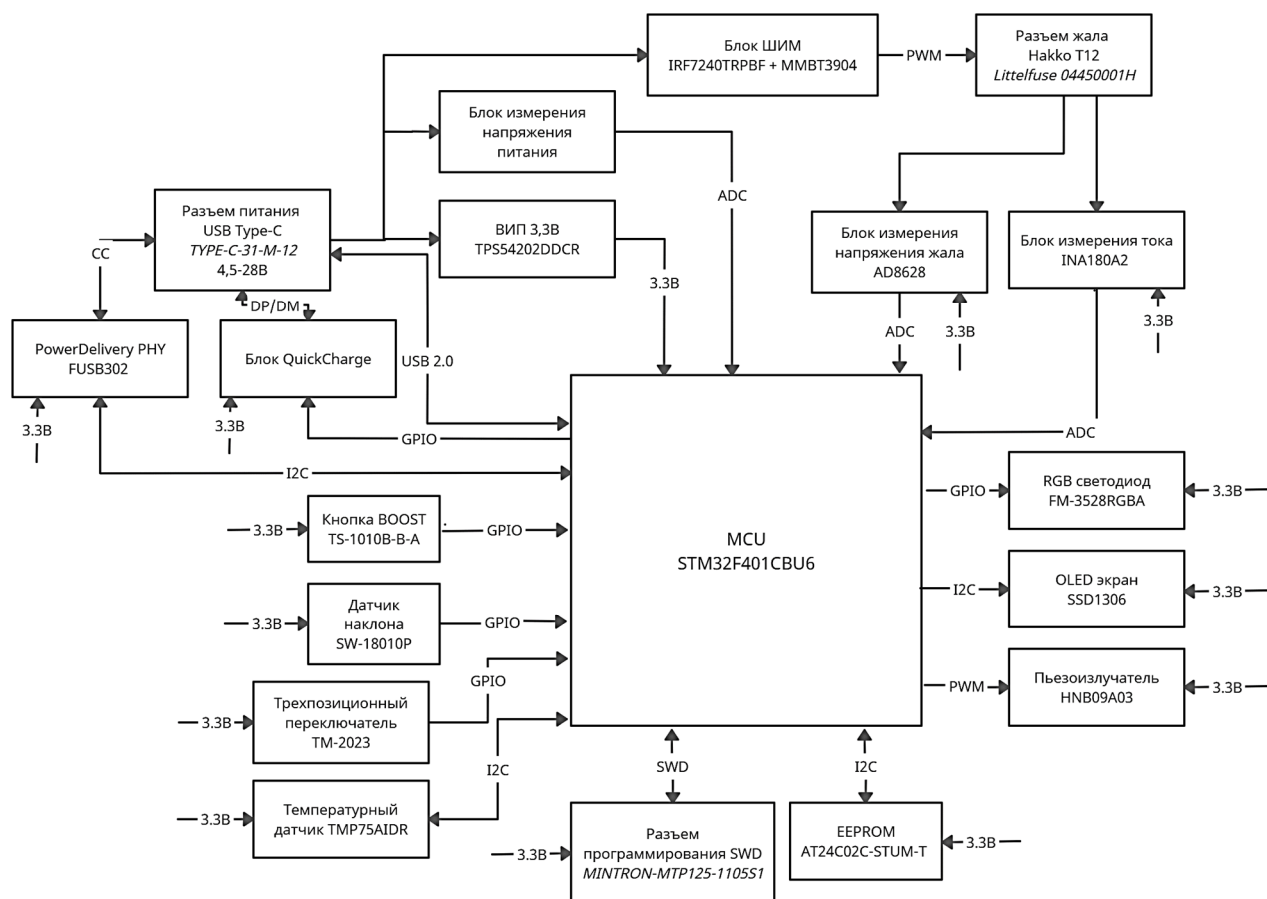


Рисунок 5. Структурная схема

Этап 3. Разработка схемы электрической принципиальной

На данном этапе уточняется выбранный перечень ЭКБ и далее поблочно разрабатывается схема электрическая принципиальная (схема Э3).

Рекомендуется начинать разработку с микроконтроллера блока управления. Любой микроконтроллер требует подключения некоторых внешних компонентов для правильного функционирования. Информацию о том, какие компоненты необходимы можно получить из спецификации на конкретный микроконтроллер, либо из дополнительных материалов, предоставляемых производителем. Вся документация на микроконтроллер, обычно, доступна на сайте производителя.

В данном примере применен микроконтроллер STM32F401CBU6. Согласно документации, на данный микроконтроллер получим схему как на рисунке 6.

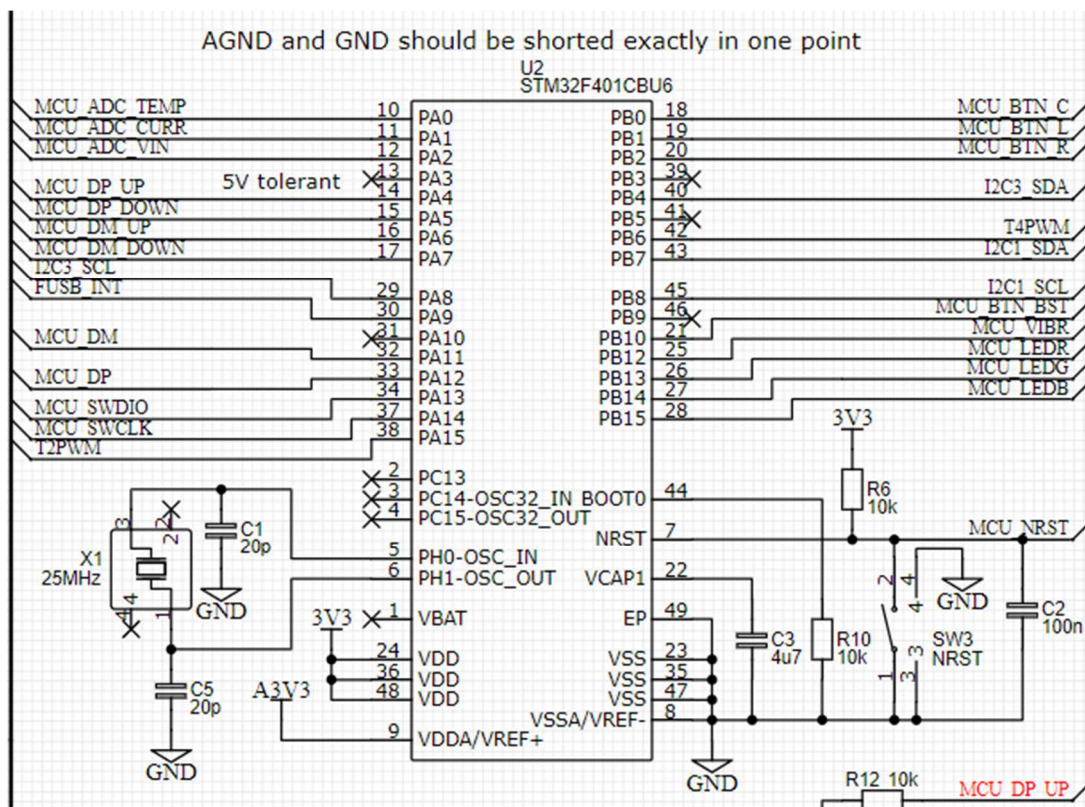


Рисунок 6. Фрагмент схемы ЭЗ с обвязкой МК

Сделаем обвязку используемых интерфейсов - добавляем компоненты необходимые для их правильной работы. В данном примере используется два I2C (рисунок 7) и один USB 2.0 Full-Speed (рисунок 8). При проектировании интерфейсов с топологией типа «шина» необходимо убедиться, что устройство на шине не будут конфликтовать между собой. В случае I2C достаточно убедиться, что адреса ведомых устройств не совпадают. Адреса устройств можно найти в спецификации на конкретную микросхему.

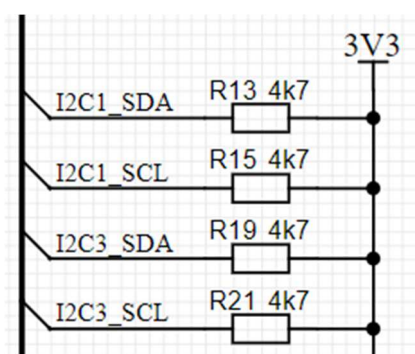


Рисунок 7. Фрагмент схемы ЭЗ с обвязкой I2C

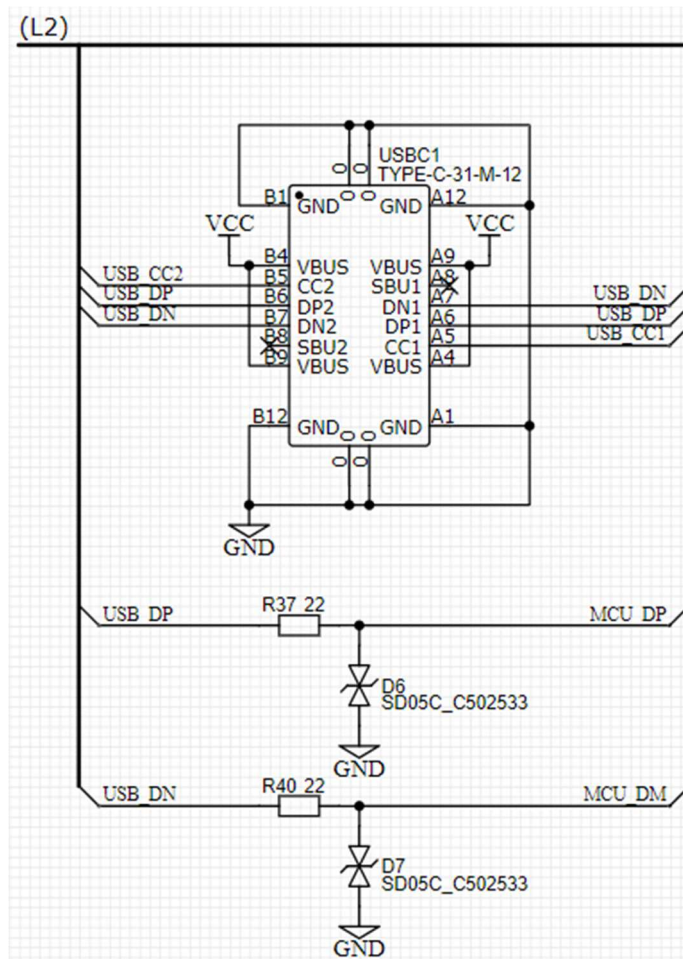


Рисунок 8. Фрагмент схемы ЭЗ с обвязкой USB

Выполним подключение импульсного преобразователя. Согласно спецификации на микросхему, установим бутстрепный конденсатор 100нФ между выходами BOOT и SW и конденсатор 56 пФ между выходом ВИП и входом обратной связи FB.

Для обеспечения обратной связи необходимо, чтобы при заданном выходном напряжении 3,3 В, на входе FB ВИП было напряжение 0,596 В., следовательно, нужен делитель напряжения, при этом производитель рекомендует применять в верхнем плече делителя резисторы около 100 кОм. Номинал резистора в нижнем плече будет равен:

$$R_H = \frac{R_B * U_{\text{вых}}}{(U_{\text{вых}} - U_{\text{оос}})} = 22041 \text{ Ом}$$

Возьмем ближайшее значение из ряда E96 - 22,1 кОм.

Максимальное напряжение на входе EN составляет 7 В, а минимальное напряжение срабатывания 1,2 В. При этом максимальное входное напряжение схемы 27В, а минимальное 4,5В. Таким образом необходимо обеспечить

включение ВИП через вход EN во всем диапазоне. Исходя из этого подберем значения для резистивного делителя: 27 кОм и 10 кОм. Так при граничных значениях напряжения получаются следующие значения:

$$U_H = \frac{4,5 \cdot 10}{(10 + 27)} = 1,22\text{В}$$

$$U_B = \frac{28 \cdot 10}{(10 + 27)} = 7,29\text{В}$$

Максимальное напряжение превышает заявленные 7В, поэтому для защиты от перенапряжения дополнительно добавим стабилитрон на 27В по входу ВИП.

Осталось выяснить номиналы входных и выходных емкостей и катушки индуктивности. Согласно спецификации на микросхему, при выходном напряжении 3,3В, максимальном токе нагрузки 2А для обеспечения уровня пульсаций не более 30мВ рекомендуется установить катушку индуктивности 10мкГн, входную емкость не менее 50мкФ и выходную емкость не менее 33 мкФ. Последуем рекомендации производителя. Итоговая схема ВИП приведена на рисунке 9.

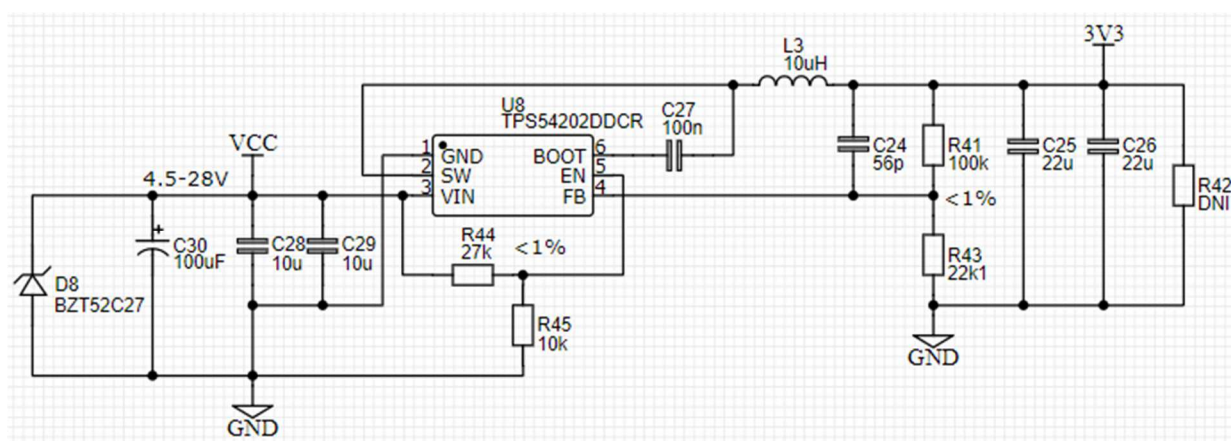


Рисунок 9. Фрагмент схемы ЭЗ с ВИП

Для поддержки Quick Charge, подключим GPIO микроконтроллера через резистивные делители. Также выполним необходимую обвязку микросхеме физического уровня Power Delivery FUSB302 согласно спецификации производителя (рисунки 10 и 11).

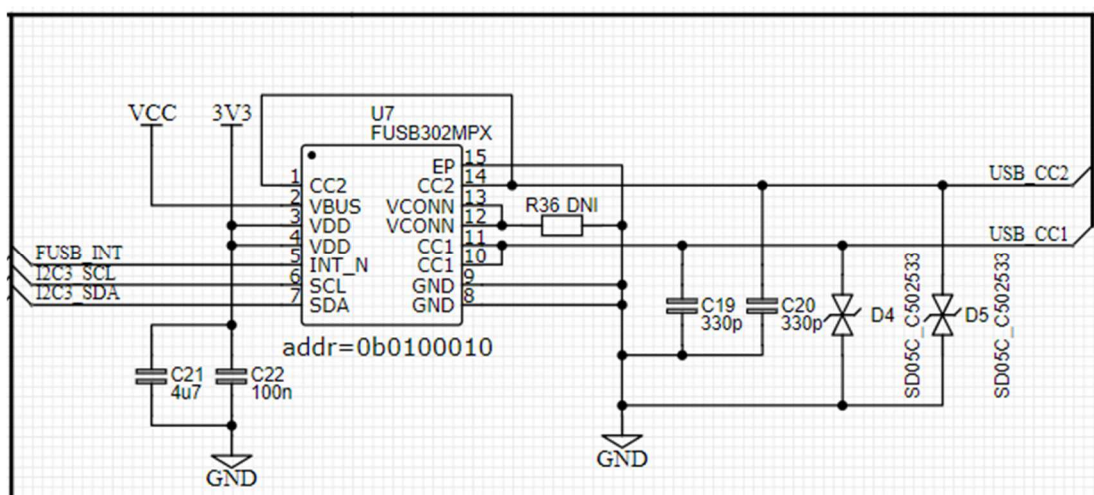


Рисунок 10. Фрагмент схемы ЭЗ с обвязкой FUSB302

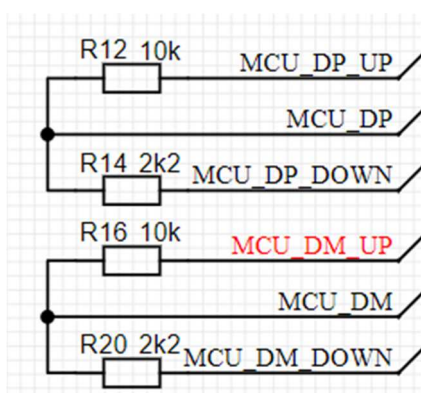


Рисунок 11. Фрагмент схемы ЭЗ с резистивными делителями QC

Далее подключим устройства ввода: различные кнопки и датчик наклона. Так как нужно отслеживать только изменения его показаний, то обвязка упрощается и становится аналогичной кнопкам (рисунок 12).

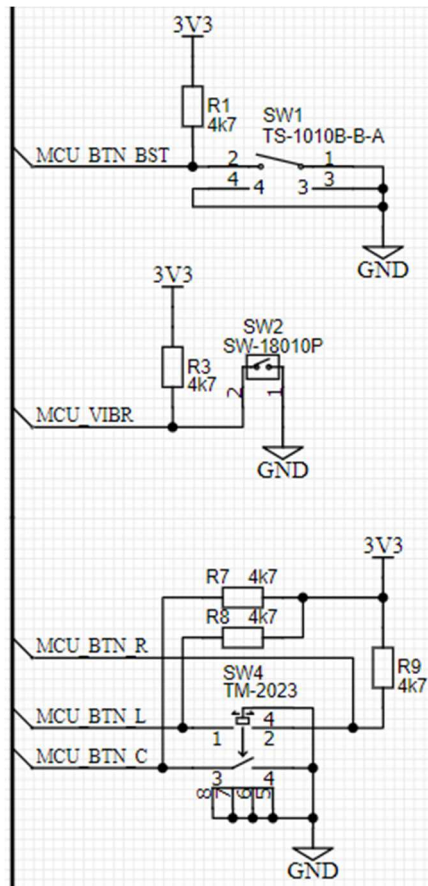


Рисунок 12. Фрагмент схемы ЭЗ с устройствами ввода

Выполним подключение устройств вывода: RGB светодиода и модуля экрана (рисунок 13).

Примечание: УГО готовых модулей можно изображать в виде разъемов, чем они с позиции разработчика основного устройства и являются.

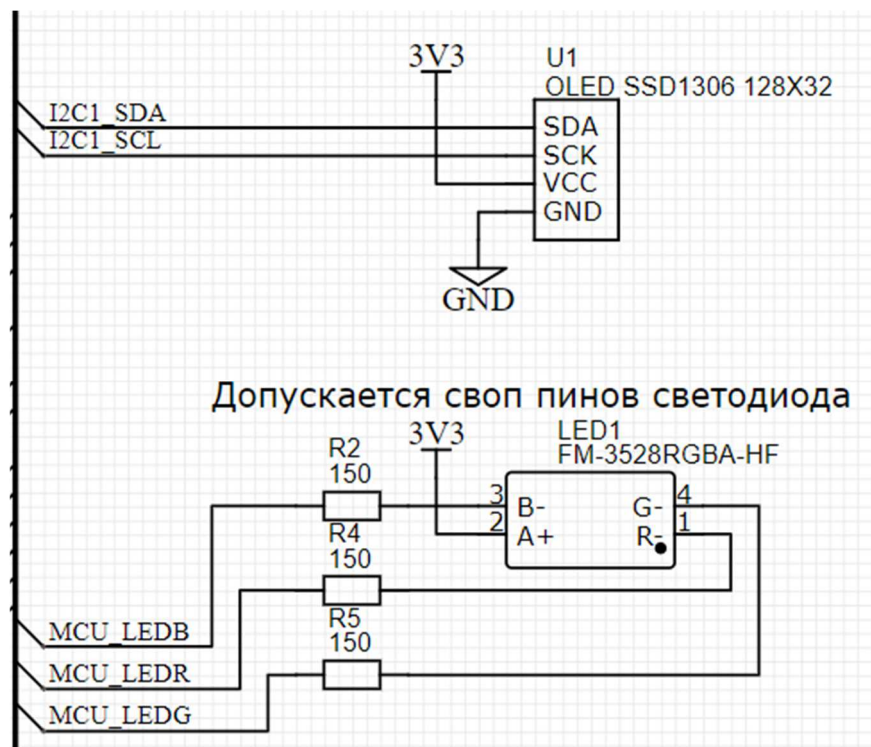


Рисунок 13. Фрагмент схемы ЭЗ с подключением экрана и светодиода

Схема для подключения пьезоизлучателя несколько сложнее, так как он является слишком мощной нагрузкой для GPIO выхода МК из-за того, что обладает высокой емкостью и в момент переключения потребляет ток более 20 мА, что превышает максимально допустимый для выхода МК. Поэтому подключим его к выводу с функцией ШИМ МК через биполярный транзистор достаточной мощности (рисунок 14).

Примечание: чтобы подобрать подходящий транзистор, можно воспользоваться параметрическим поиском на сайте любого крупного поставщика ЭКБ, например, Mouser.

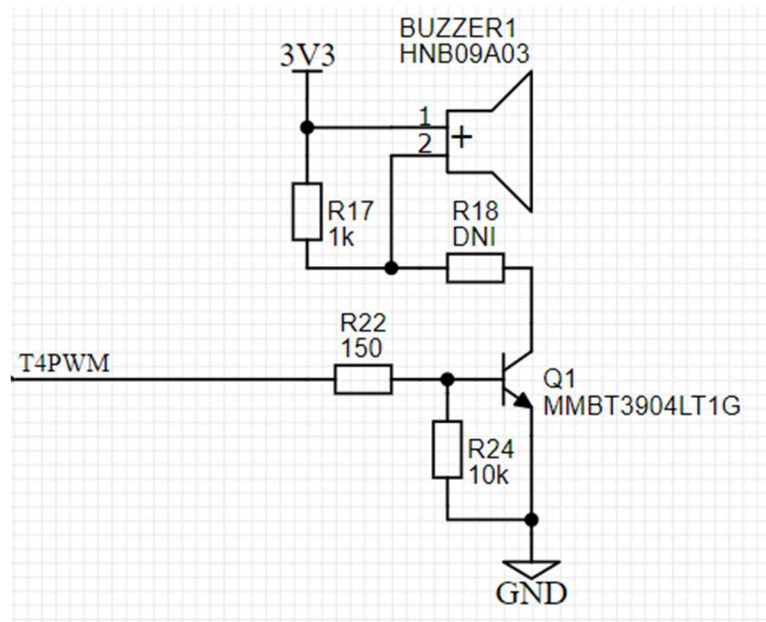


Рисунок 14. Фрагмент схемы Э3 с подключением пьезоизлучателем

Наконец, выполним подключение внешней EEPROM для микроконтроллера в соответствии со спецификацией производителя (рисунок 15).

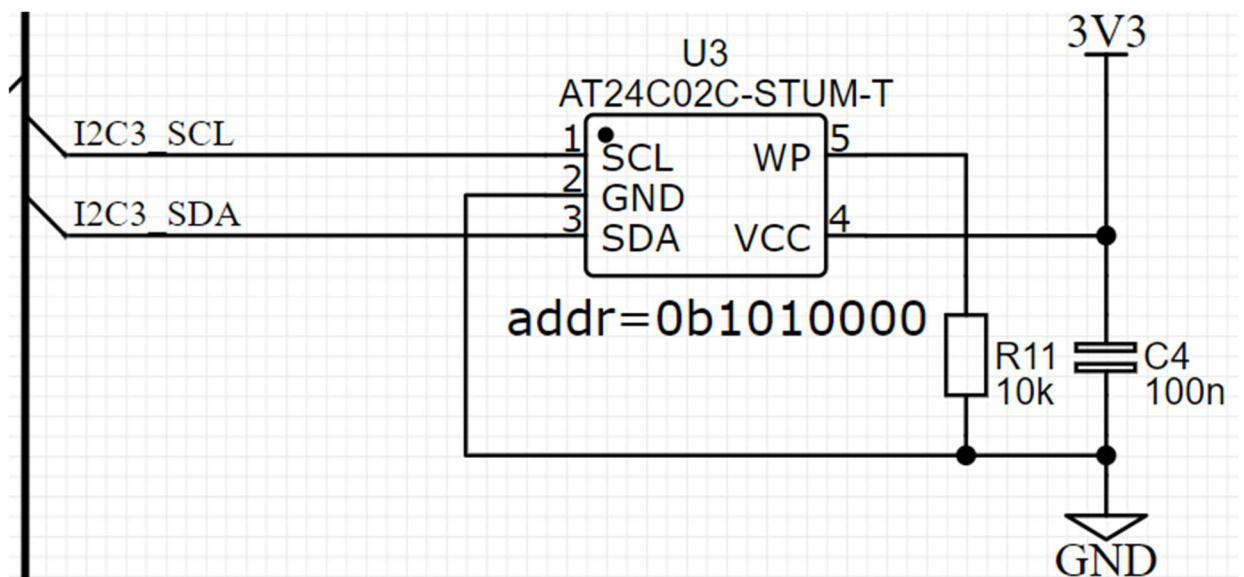


Рисунок 15. Фрагмент схемы Э3 с подключением EEPROM

Также подключим температурный датчик с интерфейсом I2C в соответствии с его спецификацией. Как можно видеть на рисунке 16, вывод ALERT не подключен, так как для подключения по интерфейсу I2C этот вывод не используется.

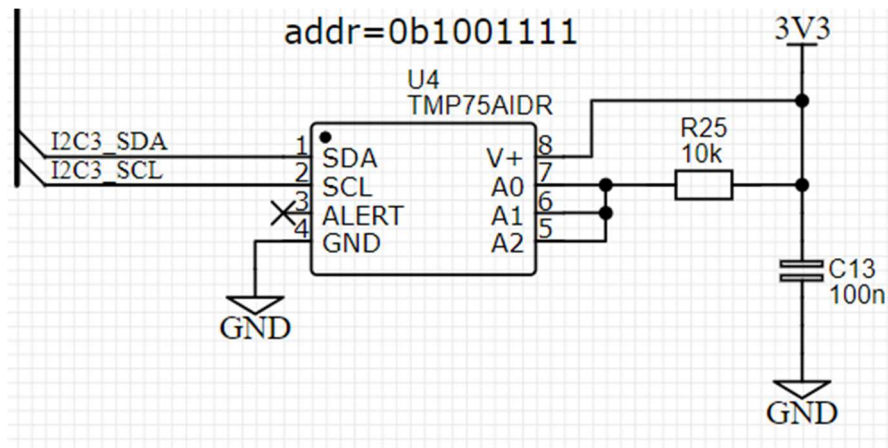


Рисунок 16. Фрагмент схемы ЭЗ с подключением температурного датчика

Перейдем к силовой части и изобразим разъемы для жала паяльника, а также цепь, управляющую подачей напряжения питания на жало на двух транзисторах, управляемую ШИМ с микроконтроллера и шунт для измерения потребляемого тока. Также на рисунке 17 можно заметить диод D3, он необходим для быстрого стравливания напряжения с жала паяльника, которое представляет собой последовательно соединенные термопару и керамический нагреватель. В данном примере применен быстрый диод RS2M с номинальным временем восстановления 500нс, что позволяет после отключения ШИМ быстро перейти к измерению напряжения на термопаре.

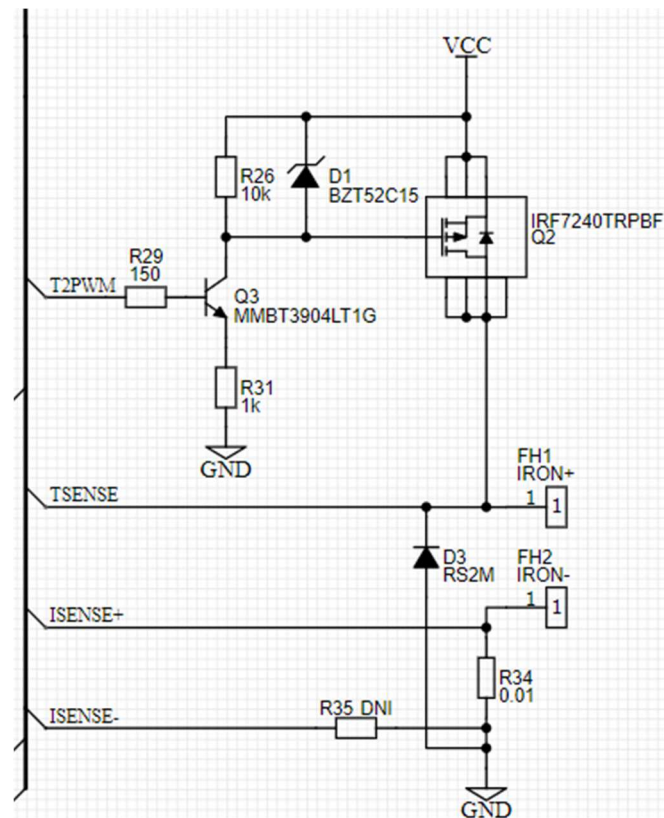


Рисунок 17. Фрагмент схемы ЭЗ управления нагрузкой

Измерительная часть выполняет, как уже было сказано, три основных функции: измерение напряжения на термопаре, измерение тока потребления и напряжения питания.

Измерение напряжения питания происходит с помощью АЦП микроконтроллера через резистивный делитель. Таким образом, напряжения на входе АЦП не должно превышать опорное напряжение, в данном случае 3,3В. Максимальное моментальное напряжение на входе питания может достигать 28В. Исходя из этого рассчитаем делитель и дополнительно добавим конденсатор 100нФ, который вместе с верхним плечом делителя формирует ФНЧ фильтр для «сглаживания» резко меняющегося напряжения на входе АЦП (рисунок 18).

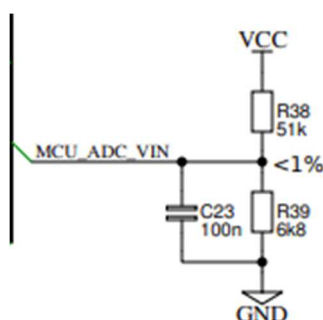


Рисунок 18. Фрагмент схемы ЭЗ с делителем напряжения для АЦП

Для измерения напряжения на термопаре соберем неинвертирующий усилитель на малощумящем ОУ с околонулевым смещением, как показано на рисунке 19. Особо отметим, что R27 выполнен в виде подстроечного резистора для регулировки коэффициента усиления в процессе отладки, а стабилитрон D2 ограничивает напряжение на положительном входе ОУ, так как он подключен к положительному контакту жала, на который может приходить до 28В с силовой части. Также следует отметить, что резисторы, формирующие коэффициент усиления, должны быть прецизионные, с отклонением номинала не более 1%.

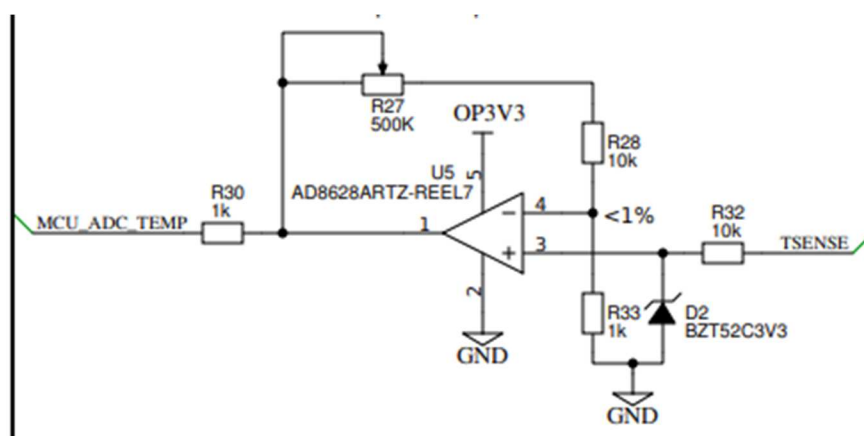


Рисунок 19. Фрагмент схемы ЭЗ с неинвертирующим усилителем

Для измерения тока схема значительно проще, так как применено готовое решение в виде INA180A2. Таким образом, схема его подключения изображена на рисунке 20.

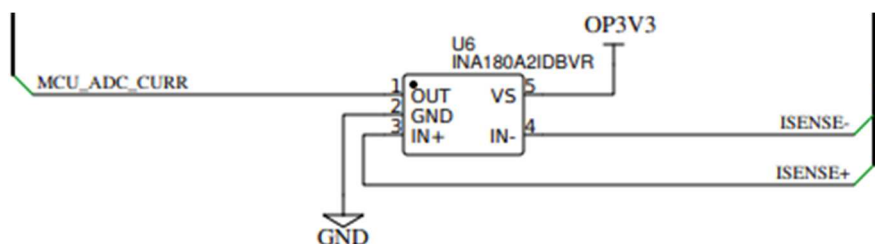


Рисунок 20. Фрагмент схемы ЭЗ с усилителем напряжения токового шунта

Особое внимание стоит уделить питанию примененных микросхем, так как цифровая часть схемы производит значительный шум на частоте работы своих компонентов, например, CPU. Для фильтрации можно применить LC фильтр, однако общепринятым решением является не установка катушек индуктивности, а ферритовых бусин, обладающих значительно лучшей добротностью. Данные бусинки имеют очень маленькое сопротивление для постоянной составляющей напряжения и значительное сопротивления, порядка нескольких сотен Ом, для переменной составляющей заданной частоты, что обеспечивает ее подавление. Реализация фильтрации питания для данного примера изображена на рисунке 21.

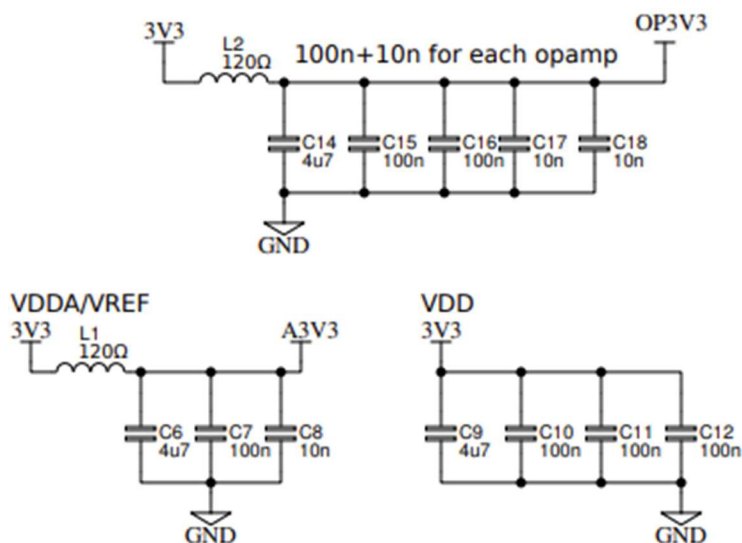


Рисунок 21. Фрагмент схемы ЭЗ с фильтрацией питания

Наконец, не стоит забывать, что любой микроконтроллер необходимо программировать и отлаживать, для этого выполним подключения интерфейса SWD, как показано на рисунке 22.

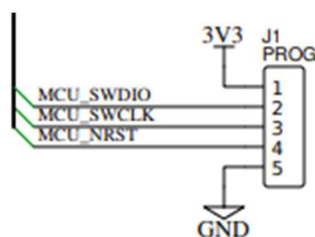


Рисунок 22. Фрагмент схемы ЭЗ с подключением разъема программирования

Данное подключение не совсем корректно, так как выводы SWDIO и SWCLK по сути «висят в воздухе» и любая наводка может изменить их логическое состояние, что приведет к непредсказуемому поведению микроконтроллера. Для исправления этой ситуации стоит всегда «подтягивать» такие выводы до нужного логического уровня с помощью резисторов номинала порядка десятков кОм. Более подробные рекомендации по подключению таких интерфейсов всегда можно найти в документации производителя микроконтроллера.

Таким образом, в конце данного этапа должна быть разработана полная схема ЭЗ. Рекомендуется перепроверить схему сначала самому, а затем попросить другого человека проверить ее еще раз. Можно выполнить так называемую перекрестную проверку: вы проверяете схему другого человека, а он проверяет вашу. Такая практика позволяет значительно сократить количество ошибок еще на раннем этапе.

Этап 4. Подготовка доклада по результатам работы

По результатам проделанной работы необходимо сделать доклад. Защита доклада производится в формате близком к защите выпускной квалификационной работы бакалавра.

Требования к формату доклада:

- Устное выступление с сопровождающей презентацией;
- Время доклада не более 8 минут;
- После доклада преподаватели задают дополнительные вопросы по содержанию доклада;
- Время на дополнительные вопросы не более 7 минут;
- Итоговая оценка складывается из содержания и подачи самого доклада и ответов на дополнительные вопросы;
- Студенты, не выполнившие предыдущие этапы индивидуального домашнего задания, к докладу не допускаются.

Требования к содержанию доклада:

- Тема доклада;
- Поставленная задача;
- Пути решения поставленной задачи;
- Как решалась задача (описание выполнения этапов);
- Была ли достигнута цель и как;
- Выводы и предложения по улучшению (если есть).

Дополнительно, после основных слайдов презентации, можно добавить вспомогательные слайды для ответов на вопросы. Например, слайды с полной схемой, фрагментами схемы, отображающими конкретные блоки устройства, расчетами, выдержками из документации.