|  |  |
| --- | --- |
| Gerb-BMSTU_01 | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ **Информатика и системы управления**

КАФЕДРА **Компьютерные системы и сети (ИУ6)**

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ **09.03.03 Прикладная информатика**

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

***к курсовой работе***

***по дисциплине «Микропроцессорные системы»***

***на тему:***

**Адаптер автомобильных диагностических шин**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Студент | ИУ6-74Б |  |  | М.А. Маркин |
|  | (Группа) |  | (Подпись, дата) | (И.О. Фамилия) |
|  |  |  |  |  |
| Руководитель |  |  |  | С.В. Ибрагимов |
|  |  |  | (Подпись, дата) | (И.О. Фамилия) |

*2022 г.*

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский институт)»

утверждаю

Заведующий кафедрой ИУ6

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2022 г.

**задание**

**на выполнение курсовой работы**

по дисциплине «Микропроцессорные системы»

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент | Маркин М.А. | (ИУ6-74Б) |
|  | (фамилия, инициалы, индекс группы) | |

Направленность курсовой работы – учебная

Источник тематики – кафедра

График выполнения работы: 25% – 4 нед., 50% – 8 нед., 75% – 12 нед., 100% – 16 нед.

***Тема курсовой работы:*** Адаптер автомобильных диагностических шин

Разработать на основе микроконтроллера семейства STM32 устройство, обеспечивающее возможность передачи данных между ПЭВМ и информационными шинами автомобиля согласно стандарту SAE J2534. Поддерживать работу с протоколом CAN, ISO 15765-4. Обеспечить взаимодействие устройства с ПЭВМ посредством интерфейса USB.

Разработать схему, алгоритмы и драйверы устройства. Отладить разработанную программу и проверить ее работу на макетной плате.

Оценить и измерить потребляемую мощность устройства.

***Оформление курсовой работы***

1. Расчетно-пояснительная записка на 30 листах формата А4.

2. Перечень графического материала курсовой работы:

а) функциональная электрическая схема;

б) принципиальная электрическая схема.

Дата выдачи задания «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2022 г.

Руководитель курсовой работы \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/

Задание получил \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2022 г.

Примечание. Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

**РЕФЕРАТ**

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 6](#_Toc122950635)

[1 Конструкторская часть 7](#_Toc122950636)

[1.1 Анализ технического задания 7](#_Toc122950637)

[1.2 Обзор возможных решений 7](#_Toc122950638)

[1.3 Выбор компонентов устройства 8](#_Toc122950639)

[1.3.1 Выбор микроконтроллера 8](#_Toc122950640)

[1.3.2 Выбор CAN-трансивера 12](#_Toc122950641)

[1.3.3 Выбор компонентов цепей питания 13](#_Toc122950642)

[1.3.4 Выбор компонентов интерфейса USB 14](#_Toc122950643)

[1.3.5 Выбор разъемов устройства 14](#_Toc122950644)

[1.4 Разработка электрической функциональной схемы 15](#_Toc122950645)

[1.4.1 Цепи микроконтроллера 15](#_Toc122950646)

[1.4.2 Цепи CAN 16](#_Toc122950647)

[1.4.3 Цепи питания 16](#_Toc122950648)

[1.4.4 Цепи интерфейса USB 17](#_Toc122950649)

[1.4.5 Цепи разъема отладки 17](#_Toc122950650)

[1.4.6 Итоговая электрическая функциональная схема 17](#_Toc122950651)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 18](#_Toc122950652)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 19](#_Toc122950653)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 20](#_Toc122950654)

**ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ПО – программное обеспечение

МК

ПЭВМ

ТЗ

SAE

ISO

CAN

DoCAN

USB

БС

ИС

DC

LDO

USB-IF

АЦП

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа описывает разработку устройства-адаптера для автомобильных диагностических шин. Описаны этапы проектирования устройства и разработки программного обеспечения микроконтроллера.

В качестве основного вычислительного устройства выбран микроконтроллер семейства STM32 – STM32F105RB. Выбранный МК имеет аппаратные контроллер интерфейса USB 2.0 FS и два контроллера CAN 2.0B, необходимые для выполнения поставленной задачи.

В процессе выполнения работы был проведен анализ технического задания и необходимых международных стандартов. Были разработаны функциональная и принципиальная схемы устройства, печатная плата устройства, ПО микроконтроллера. Было выполнено отладочное тестирование устройства с использованием макета.

Разработка устройства, согласно техническому заданию, состоит из двух основных частей: конструкторская и технологическая часть.

Конструкторская часть включает в себя:

* разработка электрической функциональной схемы устройства;
* разработка электрической принципиальной схемы устройства;
* проектирование печатной платы устройства;
* разработка программного обеспечения устройства.

Технологическая часть включает в себя:

* описание программных и аппаратных инструментов, использованных при разработке устройства;
* описание методов тестирования и отладки устройства.

1. Конструкторская часть
   1. Анализ технического задания

Техническое задание описывает устройство-адаптер, способное обеспечить взаимодействие ПЭВМ с автомобильными диагностическими шинами. Протокол взаимодействия необходимо реализовать в соответствии со стандартом SAE J2534 [1]. Устройство должно поддерживать работу со следующими протоколами: ISO 11898 (CAN) [2], ISO 15765 (DoCAN) [3].

Устройство подразумевается для использования в легковых автомобилях, следовательно устройство должно иметь возможность питаться от бортовой сети автомобиля.

Интерфейсом взаимодействия с ПЭВМ, согласно заданию, должен выступать протокол USB.

В результате анализа технического задания получаем, что устройство должно осуществлять передачу данных между ПЭВМ, используя интерфейс USB, и автомобильными шинами CAN.

Для взаимодействия с шиной CAN на физическом уровне необходимы CAN-трансивер. Для работы на канальном уровне необходим CAN-контроллер. Данные устройства могут быть объединены и представлять единое устройство, либо часть этих устройств может присутствовать в МК.

Для взаимодействия с ПЭВМ посредством протокола USB также необходим внешний или внутренний USB-контроллер.

* 1. Обзор возможных решений

Для выбора варианта реализации устройства сведем возможные варианты в таблицу и оценим их целесообразность с интерфейсной, производственной и экономической точек зрения в расчете на один канал CAN.

В таблице 1 представлены результаты сравнения возможных решений, где «интерфейс» – способ взаимодействия МК с CAN-контроллером, «кол-во устройств» – количество необходимых микросхем помимо МК, «стоимость» – стоимость данных устройств на момент разработки.

Таблица 1 – Сравнение возможных структурных решений

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | МК и внешний CAN контроллер со встроенным трансивером | МК и внешние CAN-контроллер и CAN-трансивер | МК со встроенным CAN-контроллером и CAN-трансивер |
| Интерфейс | SPI | SPI | Встроенный |
| Кол-во устройств | 1 | 2 | 1 |
| Стоимость | Высокая | Средняя | Средняя |

По совокупности параметров преимущество имеет вариант 3 – микроконтроллер со встроенным CAN-контроллером и внешним CAN-трансивером. Он имеет меньшее количество устройств по сравнению с вариантом 2, а значит проще в производстве, при сопоставимой стоимости компонентов. Интерфейс взаимодействия с CAN-контроллером в данном варианте, по сути, отсутствует, так как контроллер CAN встроен в МК, что обеспечивает большую интеграцию и упрощает работу разработчика.

* 1. Выбор компонентов устройства
     1. Выбор микроконтроллера

Исходя из решения принятого в 1.2 нам необходим микроконтроллер, имеющий в своем составе два CAN-контроллера и способный работать с протоколом USB. Скорости его работы должно быть достаточно, чтобы обслуживать работу двух независимых шин CAN, работающих на скорости до 500 кбод/с.

По данным критериям из семейства STM32 подходит несколько серий микроконтроллеров:

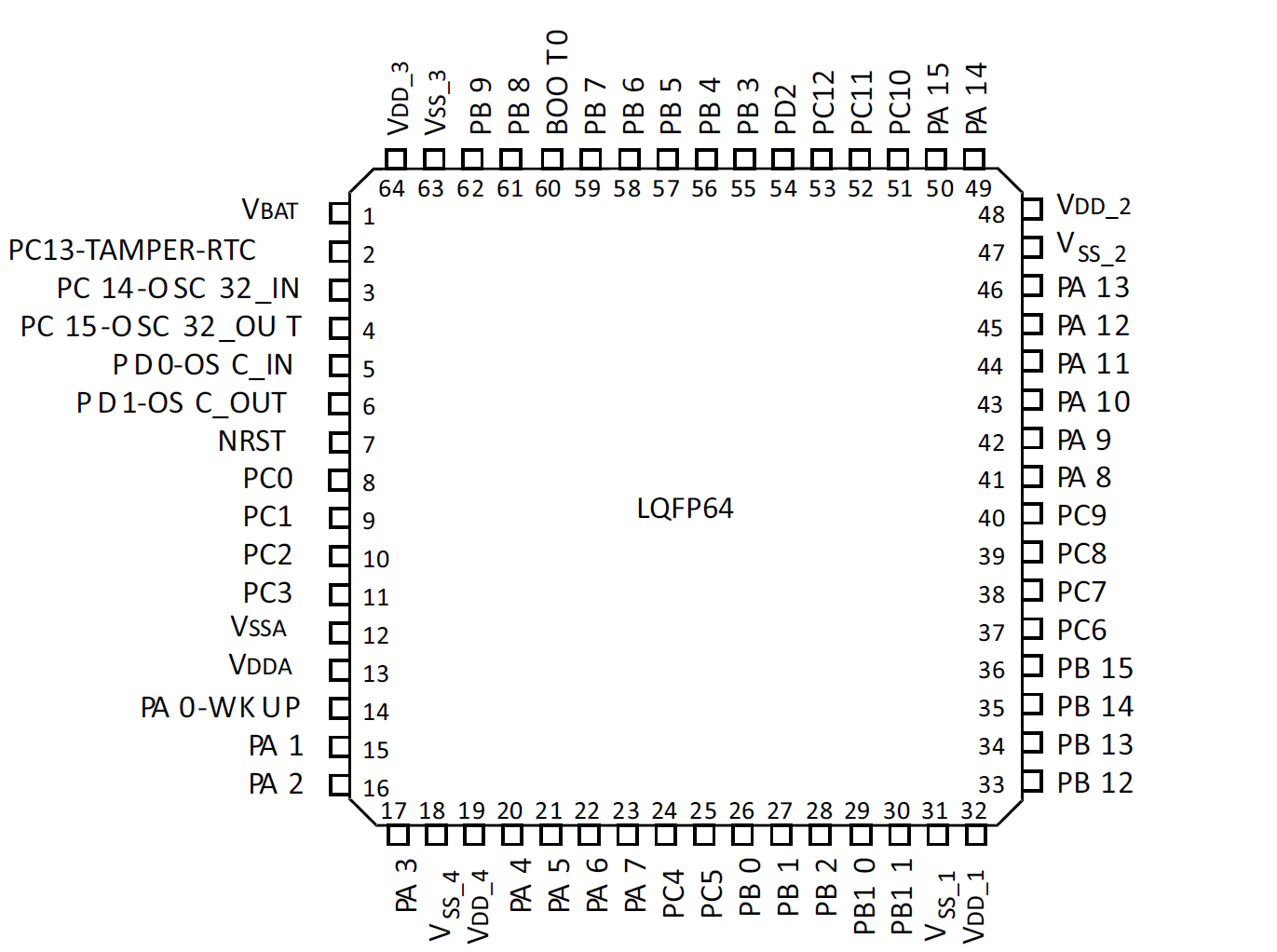
* микроконтроллеры серии F1, G4 из линейки Mainstream;
* микроконтроллеры серии F2, F4, F7, H7 из линейки High-Performance;
* микроконтроллеры серии L4 из линейки Ultra-Low-Power.

На момент выполнения работы самым доступным вариантом являются МК серии F1 из линейки Mainstream. По итогу был выбран МК STM32F105RB, как самый доступный по стоимости за единицу и имеющийся на складах вариант.

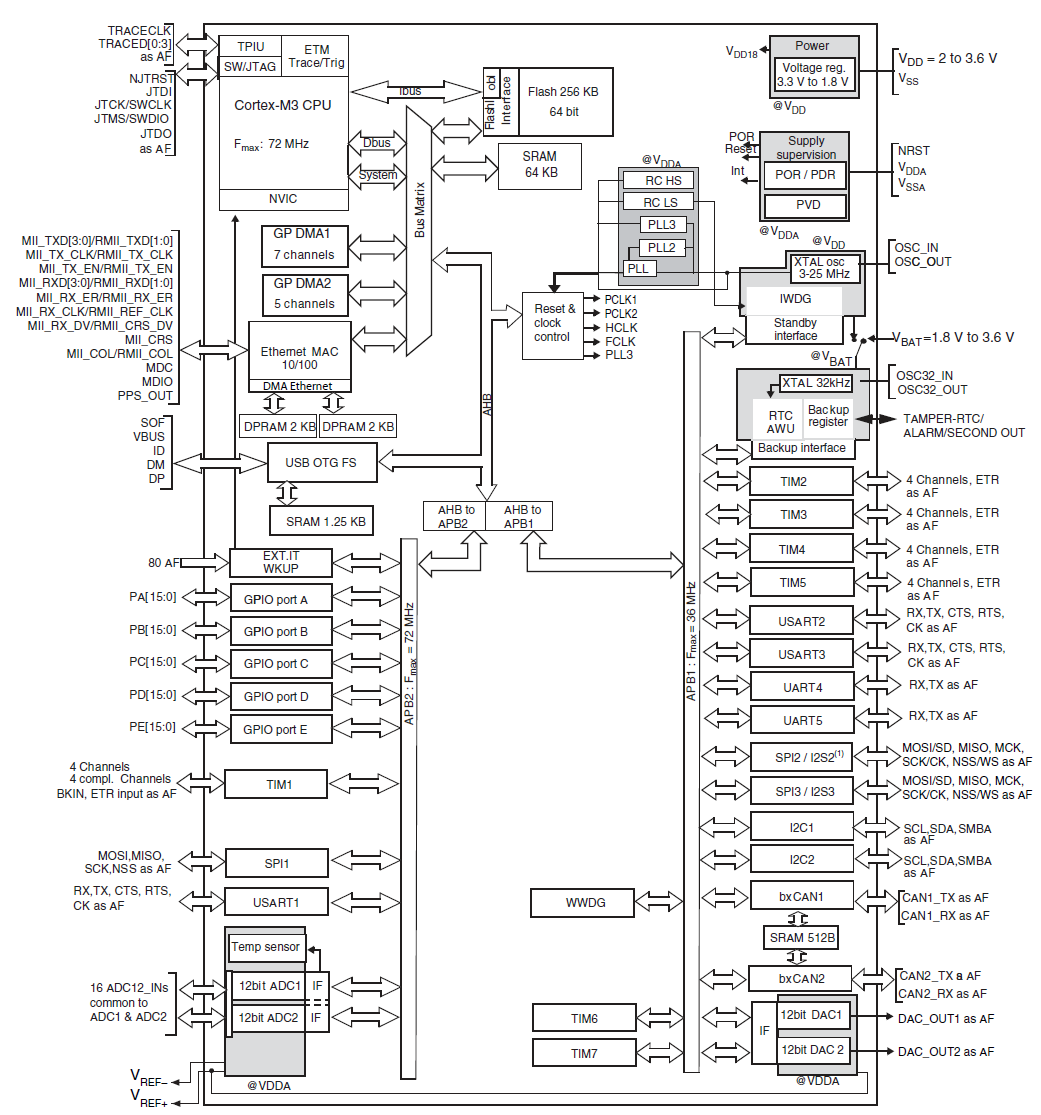
Характеристики STM32F105RB [4]:

* ядро ARM Cortex-M3 32-бит до 72 МГц;
* ОЗУ 64 Кбайт SRAM;
* Flash-память 128 КБ;
* USB 2.0 OTG FS с 1,25 КБ выделенной памяти, on-chip PHY;
* 2x CAN 2.0B c 512 Б выделенной памяти;
* 2x 12-битных ЦАП
* 7 таймеров: 4 16-битных, 1 PWM, 2 DAC таймера, SysTick, 2 WDT;
* 5 USART,
* 3 SPI до 18 Мбит/с.
* напряжение питания от 2 В до 3,6 В.

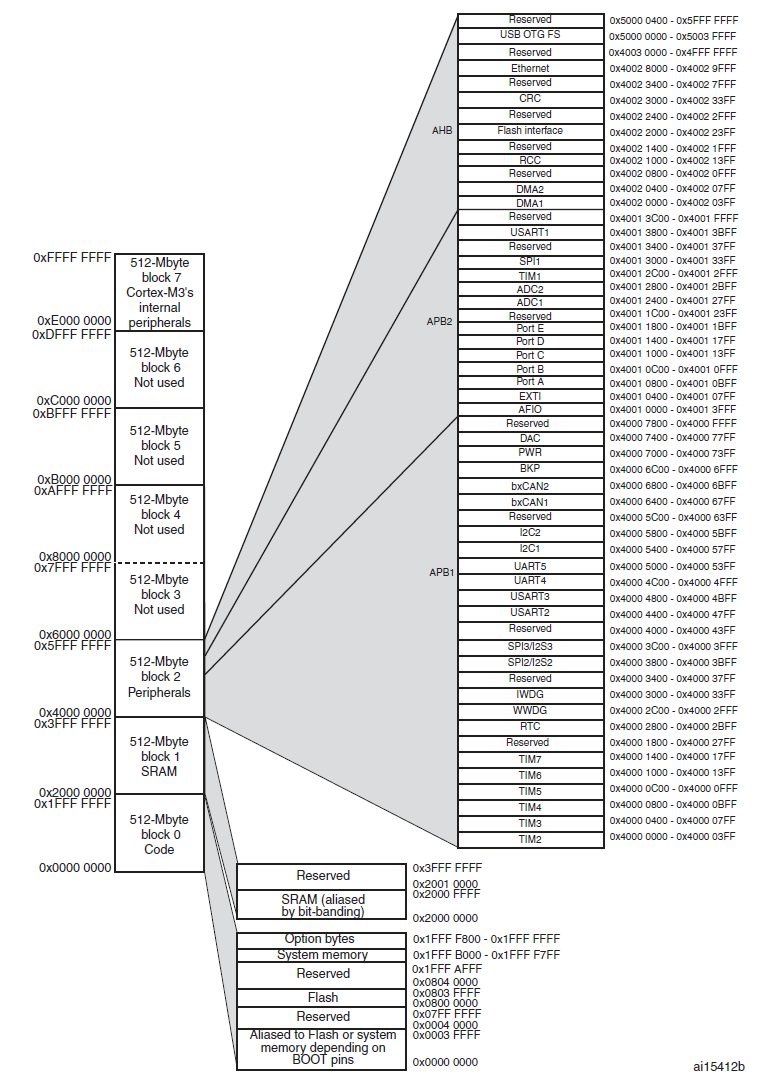
Выбранный МК производится в различных корпусах, для разрабатываемого устройства был выбран вариант в корпусе LQFP-64. Конфигурация выводов показана на рисунке 1.

  
Рисунок 1 – Конфигурация выводов STM32F105RB

Общая для микропроцессоров F105 и F107 структурная диаграмма представлена на рисунке 2. Основное отличие данных МК – это наличие у F107 интерфейса Ethernet и отсутствие второго I2C.

  
Рисунок 2 – Структурная диаграмма микроконтроллера

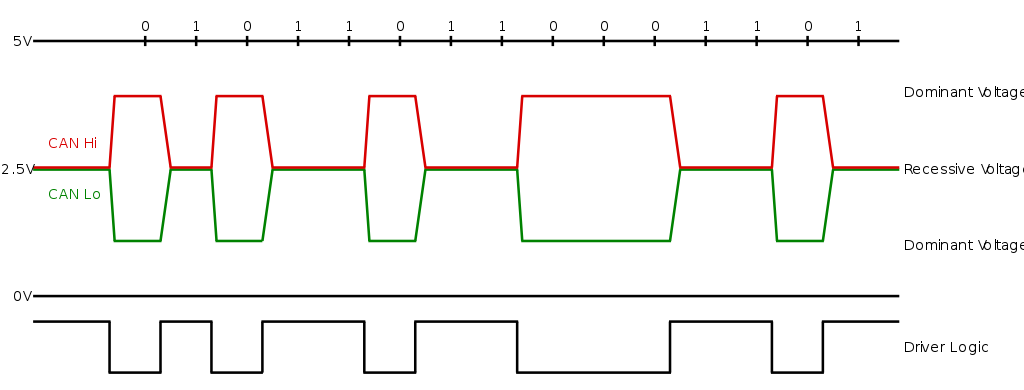
Микроконтроллер обладает 32-битной шиной адреса, что позволяет ему адресовать до 4 ГБ данных. Адресное пространство поделено между различными внутренними устройствами. Структура распределения адресного пространства памяти микроконтроллера представлена на рисунке 3.

  
Рисунок 3 – Структура распределения адресного пространства МК

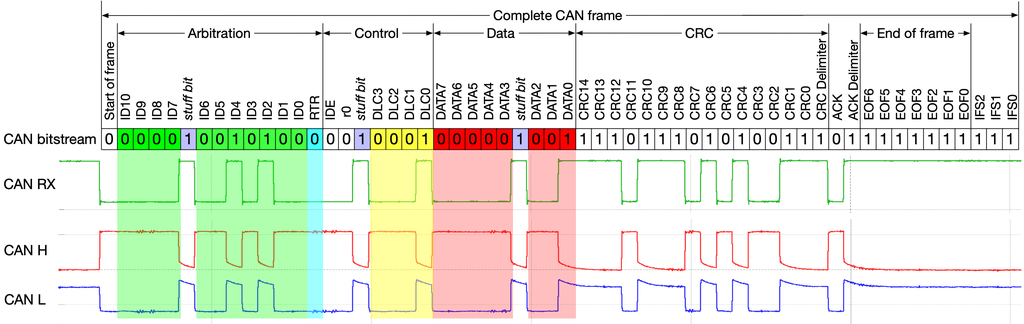
* + 1. Выбор CAN-трансивера

CAN-трансивер представляет собой устройство обеспечивающее работу на физическом уровне шины CAN. Он предназначен для управления состоянием шины – установка доминантного состояния, поддержание рецессивного, чтение текущего состояния шины.

На рисунке 4 приведена временная диаграмма физических и логических уровней сигналов на шине CAN.

  
Рисунок 4 – Временная диаграмма шины CAN

Временная диаграмма стандартного CAN кадра с обозначением логического разделения содержимого представлена на рисунке 5.

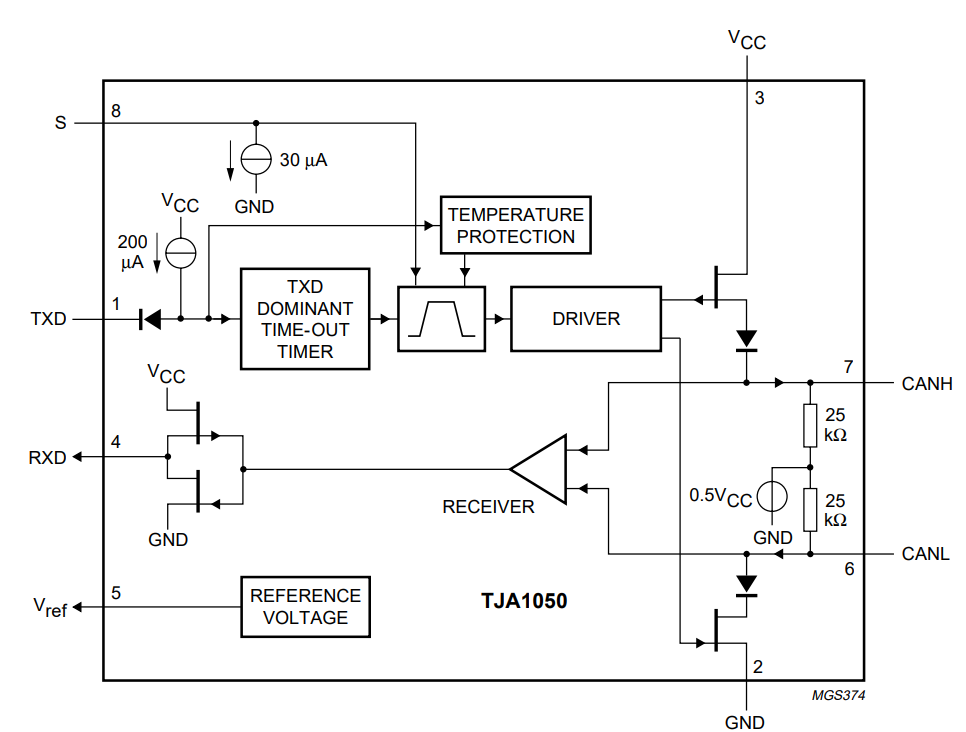
  
Рисунок 5 – Временная диаграмма стандартного кадра CAN

Основной характеристикой трансиверов является максимальная скорость работы с шиной. Также трансиверы могут включать в себе дополнительные функции: отключение передатчика, wake-up сигнал, защита шины от удержания доминантного состояния.

Большинство трансиверов представляют собой микросхему с восемью выводами и питанием +5 В.

В случае версии CAN 2.0B необходим трансивер, поддерживающий работу на скоростях до 1 Мбод/с.

В качестве CAN-трансивера была выбрана ИС TJA1050T/CM,118 производства NXP. Функциональная схема данной ИС представлена на рисунке 6 [5].

  
Рисунок 6 – Функциональная схема TJA1050T

* + 1. Выбор компонентов цепей питания

Проектируемое устройство имеет возможность питания от +5 В USB, а также от БС автомобиля, напряжение которой на исправном автомобиле может варьироваться от 10,2 В до 14,8 В.

Для питания трансиверов CAN необходимо напряжение +5 В. Для питания МК требуется 3,3 В.

Общепринятым решением данной задачи будет использование понижающего (buck) [6] DC-DC преобразователя для преобразования высокого входного напряжения в +5 В. Выходной ток преобразователя будет достаточен для питания трансиверов и последующего формирования напряжения +3,3 В для питания МК.

В качестве понижающего DC-DC преобразователя была выбрана ИС TPS563201 производства Texas Instruments.

+5 В также можно брать напрямую от USB интерфейса, подключив его через диод для защиты цепей ПЭВМ.

Для формирования напряжения +3,3 В целесообразно использовать LDO [7]. Несмотря на низкий КПД данных устройств, из-за низкого потребления МК мы можем использовать данное решение. В качестве LDO была выбрана ИС XC6206.

* + 1. Выбор компонентов интерфейса USB

Выбранный МК поддерживает стандарт USB версии 2.0 FS и содержит контроллер физического уровня внутри себя. Внешний контроллер физического уровня USB 2.0 не требуется.

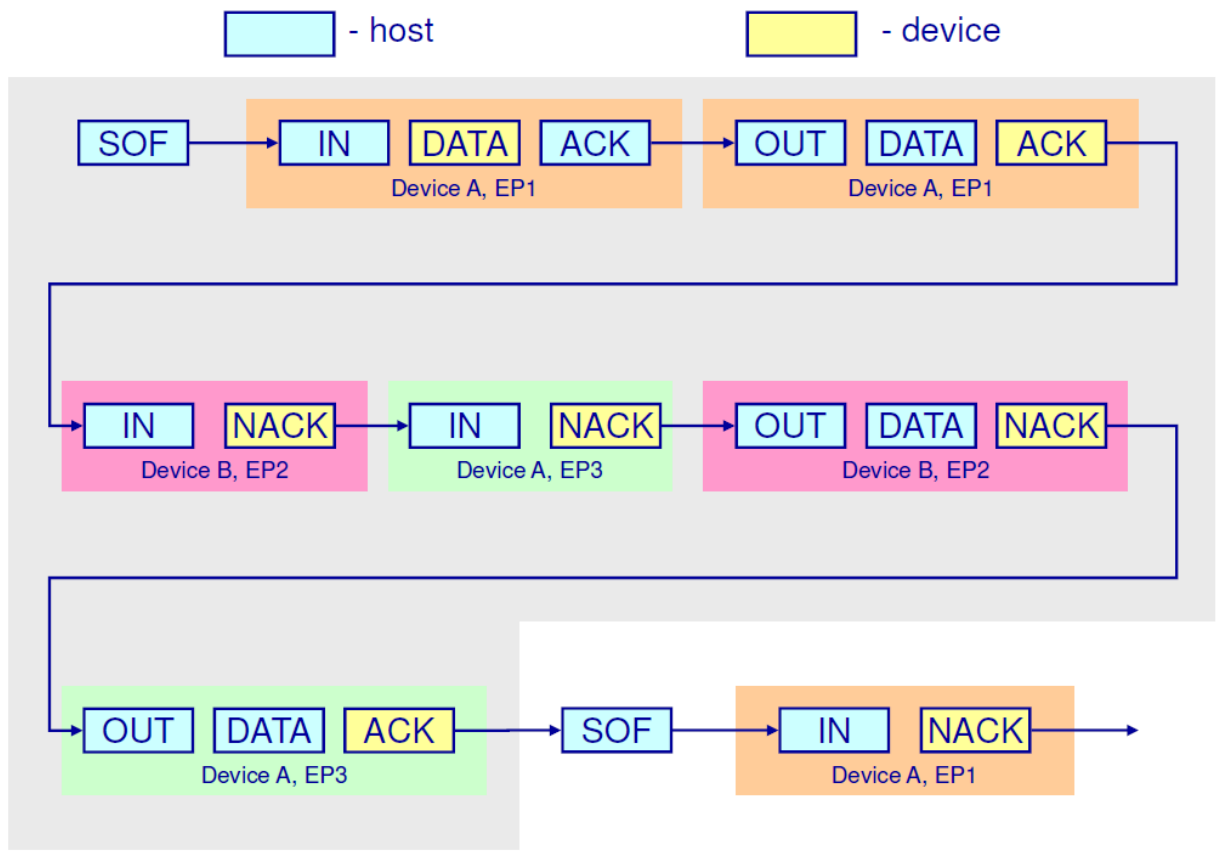
USB 2.0 представляет собой одну пару проводников, объединенных в дифференциальную пару. Передача данных всегда инициируется «хостом», все подключенные устройства могут оправлять данные только в отведенные им хостом промежутки времени. На рисунке 7 приведена диаграмма процесса передачи данных по интерфейсу USB.

Компания-производитель МК STMicroelectronics рекомендует [8] защищать линии USB микроконтроллера от статических разрядов. Для этого производитель рекомендует использовать микросхему USBLC6-2.

* + 1. Выбор разъемов устройства

Устройству необходимо по меньшей мере два разъема: для связи с автомобилем и с ПЭВМ, соответственно. Дополнительный разъем может быть предусмотрен для загрузки и отладки ПО микропроцессора.

Соединение устройств USB может осуществляться с использованием стандартных разъемов, предусмотренных USB-IF [9]. Наиболее современным и универсальным на момент проектирования устройства является разъем USB Type-C.

  
Рисунок 7 – Диаграмма передачи данных по USB

Данный тип разъема обладает следующими преимуществами:

* небольшие размеры относительно прочих разъемов,
* симметричен по горизонтали,
* имеет широкое распространение.

Подключение к автомобилю, согласно стандарту J2534, должно осуществляться с использованием разъема SAE J1962 [10].

В качестве разъема для отладки и программирования для удобства использования решено использовать штыревую вилку PLS на 6 контактов.

* 1. Разработка электрической функциональной схемы
     1. Цепи микроконтроллера

Для обеспечения работы микроконтроллера необходимо [11]:

* подключить соответствующие контакты к +3,3В и к земле,
* подключить цепи высокочастотного кварцевого резонатора,
* подключить цепи низкочастотного кварцевого резонатора,
* подключить подтягивающие резисторы ко входам сброса и выбора режима загрузки.

Для индикации текущего состояния устройства установим пару светодиодов, которыми сможет управлять МК.

Для корректной работы интерфейса USB подключим цепь +5 В от разъема USB через делитель напряжения к выделенному контакту МК [8].

Для удовлетворения требований стандарта SAE J2534 необходимо обеспечить возможность замера напряжения БС автомобиля. Подключим цепь +12 В через делитель напряжения к одному из входов АЦП микроконтроллера.

* + 1. Цепи CAN

Для работы CAN-трансиверов необходимо подключить к соответствующим контактам +5 В и землю.

Для передачи данных по шине CAN необходимо подключить выводы RX и TX к соответствующим контактам МК. Каждый трансивер подключается к отдельному контроллеру CAN, встроенному в МК.

Также подключим вывод перехода в «тихий» режим к МК, чтобы иметь возможность принудительно работать в режиме «только чтение».

Выводы CANH и CANL необходимо подключить к контактам 3, 11 и   
6, 14 разъема J1962 для каждого трансивера соответственно.

* + 1. Цепи питания

Для формирования напряжения +5 В используется DC-DC преобразователь, построенный на базе XC6206. Помимо самой ИС для формирования +5 В необходима обвязка для неё. В неё входят следующие части [12]:

* катушка индуктивности,
* делитель напряжения,
* входные и выходные емкости.

Вход DC-DC преобразователя подключен к +12 В от БС автомобиля посредством контакта 16 разъема J1962. Земля устройства объединена с массой автомобиля через контакты 4 и 5 разъема J1962.

Также к цепи +5 В через диод Шоттки подключена шина +5 В USB, чтобы обеспечить возможность питания от USB и уберечь ПЭВМ от возможных сбоев в работе цепей питания устройства.

Для формирования напряжения +3,3 В используется LDO, подключаемое к цепи +5 В. Это позволит питать МК как при подключении к автомобилю, так и при питании от USB-разъема, где происходит небольшое падение напряжения на диоде Шоттки.

* + 1. Цепи интерфейса USB

Для корректной работы разъема USB Type-C необходимо подключить контакты CC1 и CC2 согласно стандарту [9].

Так как выбранный разъем симметричен и имеет поддержку USB 2.0, то и контактов D+ и D- у него две пары. Согласно стандарту, единовременно может быть подключена только одна пара, вторая остается незадействованной, так как соединение отсутствует на уровне кабеля.

Дифференциальную пару USB 2.0 подключим к МК через ИС защиты от статических разрядов.

* + 1. Цепи разъема отладки

Для обеспечения возможности загрузки прошивки и отладки устройства необходимо подключить линии интерфейса отладки МК к разъему.

Микроконтроллер STM32F105RB предоставляет два интерфейса отладки: SWD и JTAG.

Интерфейс SWD работает по двум линиям: SWCLK и SWDIO. Дополнительно может быть подключена линия SWO.

Интерфейс JTAG работает по четырем линиям: JTCK, JTMS, JTDI, JTDO.

Линии SWD и JTAG скоммутированы внутри МК и могут быть переназначены в процессе работы, поэтому для подключения этих интерфейсов требуется лишь четыре контакта, помимо питания и земли.

* + 1. Итоговая электрическая функциональная схема

Полученная в результате работы электрическая функциональная схема приведена в приложении А.

* 1. Разработка электрической принципиальной схемы
     1. Расчет цепей тактирования микропроцессора

Расчет цепей кварцевых резонаторов осуществлялся в соответствии с рекомендациями производителя МК [13].

В качестве высокоскоростного кварцевого резонатора выбран резонатор TAXM8M4RDBCCT2T с частотой 8 МГц. Данная частота тактирования наиболее удобна для дальнейшей настройки цепей тактирования внутри МК.

Емкость нагрузочных конденсаторов была рассчитана исходя из нагрузочной способности высокочастотного резонатора [14] и емкостей выводов МК [4]. Емкость нагрузочных конденсаторов составляет 10 пФ.

В качестве низкоскоростного кварцевого резонатора был выбран резонатор NX3215SA с частотой 32,768 кГц.

Емкость нагрузочных конденсаторов была рассчитана исходя из нагрузочной способности низкочастотного резонатора [15] и емкостей выводов МК [4]. Емкость нагрузочных конденсаторов составляет 12 пФ.

* + 1. Расчет цепей развязочных конденсаторов
    2. Расчет делителей напряжения
    3. Расчет токоограничительных и подтягивающих резисторов
    4. Расчет цепей DC-DC преобразователя
    5. Расчет цепей разъема USB Type-C

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. SAE J2534:2002. Recommended Practice for Pass-Thru Vehicle Programming — URL: https://www.sae.org/standards/content/j2534\_200202/   
   (дата обращения: 04.09.2022).
2. ISO 11898-2:2016 Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 2: High-speed medium access unit. — URL: https://www.iso.org/standard/67244.html (дата обращения 17.09.2022).
3. ISO 15765-4:2021. Road vehicles — Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) — Part 4: Requirements for emissions-related systems. — URL: https://www.iso.org/standard/78384.html (дата обращения 17.09.2022).
4. STMicroelectronics. DS6014. STM32F105XX, STM32F107XX Datasheet. — URL: https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f105rb.pdf (дата обращения 03.10.2022).
5. NXP. TJA1050T High speed CAN transceiver. Datasheet — URL: https://static.chipdip.ru/lib/205/DOC000205042.pdf (дата обращения 04.10.2022).
6. Texas Instruments. Linear and Switching Voltage Regulator Fundamentals — URL: https://www.ti.com/lit/an/snva558/snva558.pdf (дата обращения 25.09.2022).
7. Texas Instruments. LDO Basics. — URL: https://www.ti.com/lit/eb/slyy151a/slyy151a.pdf (дата обращения 25.09.2022).
8. STMicroelectronics. AN4879. USB hardware and PCB guidelines using STM32 MCUs. — URL: https://www.st.com/resource/en/application\_note/dm00296349-usb-hardware-and-pcb-guidelines-using-stm32-mcus-stmicroelectronics.pdf (дата обращения 20.09.2022).
9. USB Implementers Forum Official Website. — URL: https://www.usb.org/ (дата обращения 15.10.2022).
10. SAE J1962:2002. Diagnostic Connector. — URL: https://www.sae.org/standards/content/j1962\_201607/ (дата обращения 04.10.2022).
11. STMicroelectronics. AN2586. Getting started with STM32F10xxx hardware development. — URL: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\_note/6c/a3/24/49/a5/d4/4a/db/CD00164185.pdf/files/CD00164185.pdf/jcr:content/translations/en.CD00164185.pdf (дата обращения 15.10.2022).
12. Texas Instruments. TPS56320x Datasheet. — URL: https://www.ti.com/lit/gpn/tps563208 (дата обращения 16.11.2022).
13. STMicroelectronics. AN2867. Oscillator design guide for STM8AF/AL/S, STM32 MCUs and MPUs. — URL: https://www.st.com/resource/en/application\_note/cd00221665-oscillator-design-guide-for-stm8afals-stm32-mcus-and-mpus-stmicroelectronics.pdf (дата обращения 23.10.2022).
14. TAXM8M4RDBCCT2T Specifications. — URL: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1912111437\_TAE-Zhejiang-Abel-Elec-TAXM8M4RDBCCT2T\_C400090.pdf (дата обращения 25.10.2022).
15. NX3215SA Specifications — URL: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1810171130\_NDK-NX3215SA-32-768K-STD-MUA-14\_C156244.pdf (дата обращения 25.10.2022).

ПРИЛОЖЕНИЕ А