

ГУАП

КАФЕДРА № 44

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

доц., канд. техн. наук, доц.

должность, уч. степень, звание

подпись, дата

А.А.Востриков

инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1

по курсу: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. №

4143

подпись, дата

Е.Д.Тегай

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2025

Цель работы

Получение практического навыка составления схем электрических принципиальных при проектировании современных систем обработки и передачи информации на основе программно-управляемых вычислителей.

Обоснованный выбор комплектующих для проектирования аппаратной части системы, включая выбор программно-управляемого вычислителя, выполнение расчета номиналов пассивных компонентов и составление схемы электрической принципиальной.

Индивидуальное задание

Разработать схему электрическую принципиальную и спецификацию (перечень элементов) электронного модуля системы (устройства) в соответствии с индивидуальным заданием. Привести обоснование выбора конкретного наименования вычислителя и других комплектующих, а также номиналы пассивных компонентов, присутствующих в спецификации.

Основной вычислитель должен относиться к разновидности программно управляемых и должен быть реализован в виде однокристалльной интегральной схемы (микропроцессор, микроконтроллер, СнК и т.д.).

Условия индивидуального задания варианта №17 продемонстрированы на рисунке 1.

№	Наименование	Наименование	Наименование	Наименование	Наименование	Наименование
17	2.5 + 3.0	Внешний генератор	SPI, RS-232	0 В + 10 В	--	1
Встроенные часы реального времени (на кристалле)						

Рисунок 1 – Индивидуальное задание

Определение перечня необходимых комплектующих по типам с обоснованием выбора

1. Микроконтроллер. В ходе проектирования схемы рассматривалось несколько вариантов микроконтроллеров, удовлетворяющим требованиям условий задания. Так, необходимо было найти такой микроконтроллер, который бы имел следующие характеристики: низкое энергопотребление, наличие встроенных аналоговых интерфейсов (АЦП, компаратор), поддержка периферии (SPI) и возможность работы от напряжения 2.5 – 3В. **Опорное напряжение: 3.3В.** По итогу выбор пал на **STM32L476RGTx**

(**STMicroelectronics**) из-за следующих достоинств: ультранизкое потребление (режимы Sleep/Stop с током до 1 мкА), наличие 12-битного АЦП с высокой точностью (± 1 LSB) и встроенный компаратор, исключая необходимость во внешних компонентах, поддержка двух кварцевых резонаторов (8 МГц и 32.768 кГц) для точного тактирования и RTC (часы реального времени), широкий диапазон напряжения питания (1.71 – 3.6 В). Помимо этого, данная модель имеет лучший баланс цены и функциональности для данного проекта.

Этот компонент в разработанной схеме обеспечивает: минимальное энергопотребление в сочетании с высокой производительностью, полную интеграцию всех необходимых аналоговых и цифровых интерфейсов, надёжность работы в широком диапазоне условий, простоту разработки благодаря наличию полного комплекта инструментов (STM32CubeIDE, HAL-библиотеки), возможности для дальнейшего расширения функциональности.

Ссылка на документацию:

<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l476je.pdf>

2. Преобразователь уровней. Для реализации интерфейса RS-232 в проект необходимо было добавить преобразователь уровней. В качестве такового был выбран **MAX3232CSE (MAX3232)** производства **Texas Instruments**. Этот компонент играет важную роль в обеспечении надёжной последовательной связи между микроконтроллером и внешними устройствами, работающими по этому стандарту. Представляет собой двухканальный драйвер приёмопередатчика для преобразования сигналов между уровнями TTL/CMOS (3 – 5В) и стандартными уровнями RS-232 (± 5 В до ± 15 В). Преимуществом в контексте проекта является его способность работать от однополярного питания +3.0В до +5.5В, что идеально соответствует рабочему напряжению микроконтроллера в 3.3В. Поэтому с его внедрением исключается необходимость использования дополнительных источников питания и упрощает общую схему устройства. Еще одними преимуществами являются: низкое энергопотребление, встроенная защита от короткого замыкания и перегрузки по току на выходах. Выбор был сделан по

следующим причинам: совместимость с промышленными стандартами, наличие 2 независимых каналов (приём и передача), широкий диапазон рабочих температур (от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$), минимальное количество внешних компонентов (4 конденсатора), проверенная надёжность и стабильность работы.

В разработанной схеме данный компонент обеспечивает гальваническую развязку между микроконтроллером и внешними устройствами, преобразует логические уровни UART (3.3В) в стандартные уровни RS-232, защищает чувствительные входы микроконтроллера от перенапряжений, позволяет осуществлять передачу данных на расстояния до 15 метров.

Ссылка на документацию:

<https://www.chipfind.ru/datasheet/pdf/maxim/max3232.pdf>

3. Кварцевые резонаторы. В разработанной схеме используются 2 кварцевых резонатора, обеспечивающих точное тактирование микроконтроллера: основной генератор на 8 МГц и низкочастотный на 32.768 кГц. Основной генератор служит источником тактовой частоты для ядра микроконтроллера и его периферийных модулей. В проекте подразумевается применение стандартного кварцевого резонатора в корпусе HC-49/SMD со следующими характеристиками: номинальная частота 8 МГц $\pm 20\text{ppm}$, ёмкость нагрузки 20 пФ, температурная стабильность $\pm 10\text{ppm}$ в диапазоне $-20\dots+70^{\circ}\text{C}$, сопротивление потерь ≤ 80 Ом, долговременная стабильность $\pm 5\text{ppm}$ в год. Выбор этого резонатора обусловлен оптимальным соотношением между энергопотреблением и производительностью, широкой распространённостью и доступностью компонента, простотой согласования с входными цепями микроконтроллера, возможность последующего умножения частоты через PPL до 80 МГц. Для обеспечения стабильной работы кварца в схему включены **2 конденсатора по 26 пФ**, образующих вместе с паразитной ёмкостью монтажа требуемую ёмкостную нагрузку 8 пФ.

Второй резонатор используется для тактирования модуля реального времени (RTC) и обеспечения работы микроконтроллера в энергосберегающих режимах. В проекте подразумевается применение компактного SMD-резонатора в корпусе 3.2*1.5мм со следующими параметрами: номинальная частота 32.768 кГц ± 20 ppm, ёмкость нагрузки 12.5 пФ, температурная стабильность ± 10 ppm в диапазоне -40...+85°C, потребляемый ток ≤ 1 мА, сопротивление потерь ≤ 35 кОм. Особенность выбора для этого резонатора такова: минимальное энергопотребление в режимах ожидания, высокая точность хода часов реального времени, компактные габариты, стабильность работы при пониженных температурах. Для данного кварца также предусмотрены нагрузочные **конденсаторы по 15 пФ**, подобранные с учётом особенностей входного каскада микроконтроллера и паразитных параметров монтажа.

Использование отдельных кварцевых генераторов для системного тактирования и RTC обеспечивает независимость работы RTC при переходе в энергосберегающие режимы, возможность точной временной привязки событий даже при остановке основного генератора, снижение общего энергопотребления системы, повышение надёжности за счёт разделения функций тактирования.

4. Батарея. В разработанной схеме в качестве источника резервного питания используется литиевая батарея CR2032 с номинальным напряжением 3В. Данный выбор обусловлен оптимальным сочетанием технических характеристик и эксплуатационных параметров, полностью соответствующим требованиям. Ключевые особенности: номинальное напряжение 3В (± 0.2 В) в течение всего срока службы, ёмкость 220-240 мАч (при токе разряда 0.2 мА), рабочий диапазон температур -30°C до +60 °C, срок хранения до 10 лет благодаря низкому саморазряду ($< 1\%$ в год).

Напряжение 3В идеально соответствует требованиям микроконтроллера (1.6-3.6В на входе VBAT) – отсюда отсутствие необходимости в дополнительных преобразованиях напряжения. Низкий саморазряд

гарантирует сохранность данных при длительном простое. Компактные размеры позволяют разместить батарею на плате без увеличения габаритов устройства. Герметичная конструкция исключает утечку электролита, есть ещё встроенная защита от перегрева и короткого замыкания.

Следует отметить, что в разработанной схеме присутствуют ещё защитные элементы, соединённые с батареей: диод Шоттки (**BAT54S**), который предотвращает обратный ток, а также конденсатор на 100 нФ, который фильтрует помехи на линии VBAT микроконтроллера.

Ссылка на документацию:

<https://data.energizer.com/pdfs/cr2032.pdf>

5. Диод Шоттки. В разработанной схеме в качестве защитного элемента используется диод Шоттки **BAT54S**, который играет ключевую роль в обеспечении надёжной и безопасной работы системы. Этот компонент был выбран благодаря оптимальному сочетанию электрических характеристик и физических параметров. Основные характеристики: максимальное обратное напряжение 30В, прямой ток 200мА (пиковый до 600мА), падение напряжения при 100мА – 0,32В, рабочий диапазон температур -65°C до +125°C.

Данный элемент защищает от обратной полярности питания, предотвращает обратный ток от батареи, минимизирует потери напряжения в цепи питания, обеспечивает плавный переход между основным и резервным питанием.

Преимущество конкретно этой модели заключается в следующем: низкое падение напряжения (в 2 – 3 раза меньше, чем у обычных кремниевых диодов), высокая точность переключения (несколько наносекунд), компактные размеры, надёжность и прочность (отсутствие эффекта накопления заряда и устойчивость к термическим нагрузкам).

В разработанной схеме обеспечивает гальваническую развязку цепей, защиту от перенапряжений и предотвращает разряд батареи при отключении от основного питания.

Ссылка на документацию:

https://www.vishay.com/docs/86410/bat54_bat54a_bat54c_bat54s.pdf

6. АЦП. В микроконтроллер встроен АЦП, который позволяет измерять внешние аналоговые сигналы в диапазоне от 0В до 3.3В. Для работы с более высокими напряжениями (0 – 10В, что дано по заданию) необходимо использовать делитель напряжения на резисторах, который понижает этот большой диапазон до допустимого. Для расчёта номиналов резисторов используется следующая формула:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R2}{R1+R2},$$

где $V_{in} = 10В$, а $V_{out} = 3.3В$. Подбираем значения на резисторах так, чтобы уравнение было верным. Итого получилось, что $R2 = 10\text{ кОм}$, а $R1 = 20\text{ кОм}$.

Ссылка на документацию:

<https://static.chipdip.ru/lib/264/DOC005264291.pdf>

7. Конденсаторы. Выполняют в разработанной схеме критически важные функции: фильтрацию помех, стабилизацию напряжения, формирование нагрузочной ёмкости для кварцевых резонаторов и обеспечение корректной работы цифровых и аналоговых цепей. Используются номиналы: 6 пФ, 15 пФ и 100 нФ, подобранные в соответствии с требованиями каждого узла схемы.

Конденсаторы для кварцевых резонаторов формируют нагрузочную ёмкость, необходимую для стабильной генерации частоты, а также обеспечивают корректную работу RTC-генератора. Конденсаторы у питания микроконтроллера подавляют высокочастотные помехи на линиях питания и предотвращают сбои микроконтроллера при скачках напряжения. Конденсатор у цепи сброса NRST микроконтроллера фильтрует помехи на линии сброса и гарантирует «чистый» сигнал при включении или выключении питания. Конденсатор у делителя напряжения фильтрует высокочастотный шум на входе АЦП и стабилизирует измеряемое напряжение. Конденсатор у компаратора подавляет помехи на аналоговом входе и предотвращает ложные срабатывания компаратора. Конденсаторы у преобразователя уровней обеспечивают работу встроенного генератора зарядовых насосов,

обеспечивают стабильность работы преобразователя и формируют напряжения $\pm 5\text{В}$ для интерфейса RS-232.

Расчёт номиналов

Конденсаторы:

Для кварца 8 МГц (2 по 26 пФ). Должна быть нагрузочная ёмкость $C_L = 18 \text{ пФ}$, как указано в документации. Паразитная ёмкость $C_{\text{п}} = 5 \text{ пФ}$
Тогда:

$$C_1 = C_2 = 2 * (18 \text{ пФ} - 5 \text{ пФ}) = 26 \text{ пФ}$$

Ссылка на документацию кварца ABL8-8.000MHZ-B2-T:

<https://static.chipdip.ru/lib/142/DOC011142391.pdf>

Для кварца 32.768 кГц (2 по 15 пФ). Должна быть нагрузочная ёмкость $C_L = 12.5 \text{ пФ}$, как указано в документации. Паразитная ёмкость $C_{\text{п}} = 5 \text{ пФ}$

Тогда:

$$C_1 = C_2 = 2 * (12.5 \text{ пФ} - 5 \text{ пФ}) = 15 \text{ пФ}$$

Ссылка на документацию кварца ECS-.327-12.5-34B-TR:

<https://www.ecsxtal.com/store/pdf/ecx-31b.pdf>

Резисторы:

Для делителя напряжений:

$$V_{ADC} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

При $V_{in} = 10\text{В}$ должно быть $V_{ADC} \leq 3.3\text{В}$. Отсюда:

$$\frac{R_1}{R_2} \approx 2$$

Нашли оптимальный вариант:

$$R_1 = 20 \text{ кОм} \text{ и } R_2 = 10 \text{ кОм}$$

Схема электрическая принципиальная

Искомая разработанная схема продемонстрирована на рисунке 2.

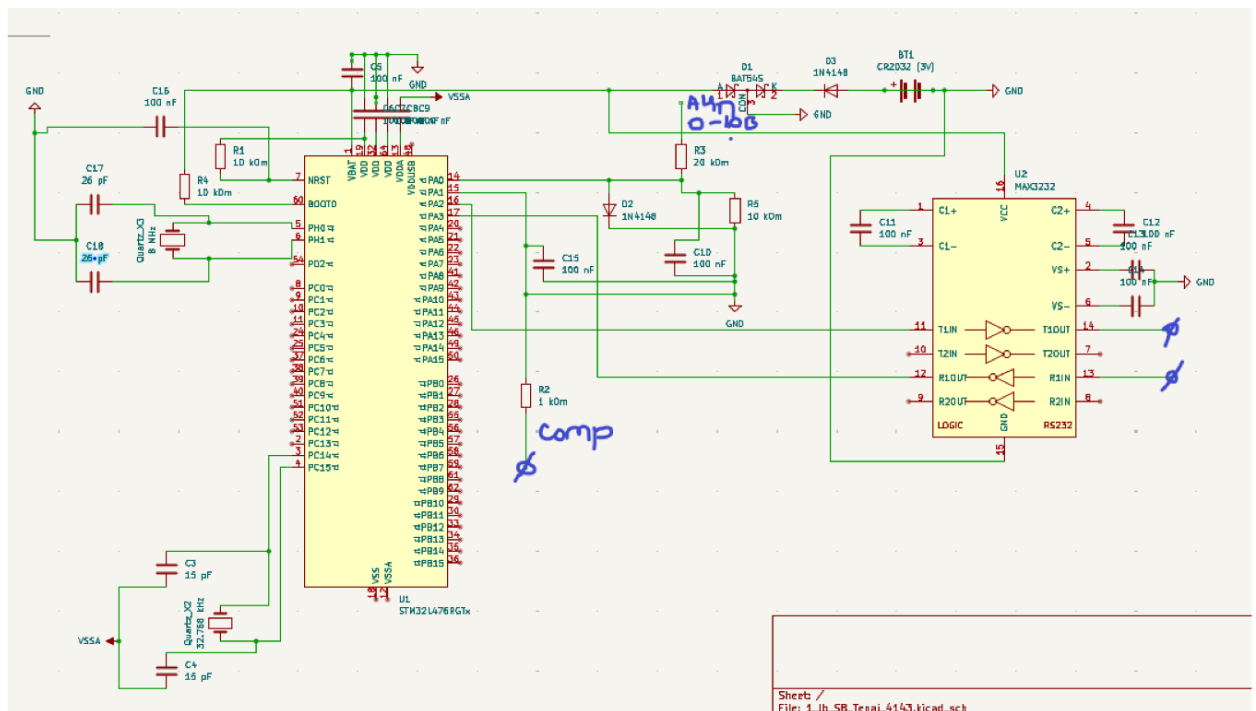


Рисунок 2 – Разработанная схема

Спецификация

Основные параметры системы.

Микроконтроллер:

STM32L476RGTx (ядро Cortex-M4, 80 МГц, 1 МБ Flash, 128 КБ RAM).

Питание:

Основное: 2.5-3.0В. Стабилизатор MCP1700-2.5V формирует 2.5В для VDDA (аналоговая часть). Основное питание VDD = 2.5 – 3.0В

Резервное: батарея CR2032 (3В) через диод BAT54S

Тактирование:

Кварцевые резонаторы 8 МГц и 32.768 кГц соответствуют требованию внешнего генератора

Интерфейсы:

RS-232 реализован через MAX3232 (PA2, PA3)

SPI (возможность встроена в микроконтроллер, PA4-PA7)

АЦП:

Вход 0 – 10В → делитель напряжения на 18 кОм + 6.8 кОм. $V_{ADC} = 2.74$ В (безопасно)

Компаратор:

Внутренний (на кристалле), подключён к PA1 через 1кОм

RTC:

Встроенные часы реального времени с резервным питанием от CR2032 реализованы через LSE (32.768 кГц)

Таблица 1. Спецификация элементов схемы

№	Наименование	Обозначение на схеме	Тип/Модель	Кол-во	Примечание
1	Микроконтроллер	U1	STM32L476GRTx	1	Основной управляющий элемент схемы
2	Резонатор кварцевый, 8 МГц	Quartz_X1	ABLS-8.000MHZ-B2-T	1	Тактирование от внешнего генератора
3	Резонатор кварцевый, 32.768 кГц	Quartz_X2	ECS-.327-12.5-34B-TR	1	Для RTC (часы реального времени)
4	Конденсатор 15 пФ	C3-C4	Керамический	2	Согласование резонатора 32.768 кГц
5	Конденсатор 26 пФ	C1-C2	Керамический	2	Согласование резонатора 8 МГц
6	Конденсатор 100 пФ	C5-C16	Керамический	12	Развязка питания, MAX3232 и делителя
7	Резистор 10 кОм	R1, R4	-	2	Подтяжка BOOT0, NRST
8	Резистор 1 кОм	R2	-	1	Связь с PA1 (компаратор)
9	Резистор 15 кОм	R3	-	1	Делитель напряжения (верхний)

10	Резистор 6.8 кОм	R5	-	1	Делитель напряжения (нижний)
11	Диод защитный (обычный)	D2-D3	1N4148	2	Защита входов
12	Диод Шоттки	D1	BAT54S	1	Защита от переплюсовки
13	Батарейка литиевая	BT1	CR2032	1	Резервное питание RTC
14	Преобразователь для интерфейса RS-232	U2	MAX3232CSE	1	Передача/приём данных по RS-232
15	Соединительные провода	-	-	-	Внутрисхемные соединения