

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский
университет)»

Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

Разработка программно-аппаратной части стенда для исследования цифрового двойника вентильного двигателя

Руководитель работы:
к.т.н., доцент каф. ЭВМ
П.О. Шабуров

Автор работы:
студент группы КЭ-405
Д. Т. Тазеева

Актуальность

Цифровой двойник – представляет собой модель, внедренную в существующий продукт для хранения информации обо всех неисправностях и недоработках изделия. Функционирует на основании информации с датчиков, установленных на физическом объекте.

Цифровые двойники служат как при проектировании, так и на этапе строительства и даже эксплуатации товара.

Эта технология в первую очередь внедрена в крупные компании металлургической и горнодобывающей промышленности, а также в энергетику.

Приемопередатчик – это устройство, с помощью которого можно передавать сигналы между двумя разными платформами связи.

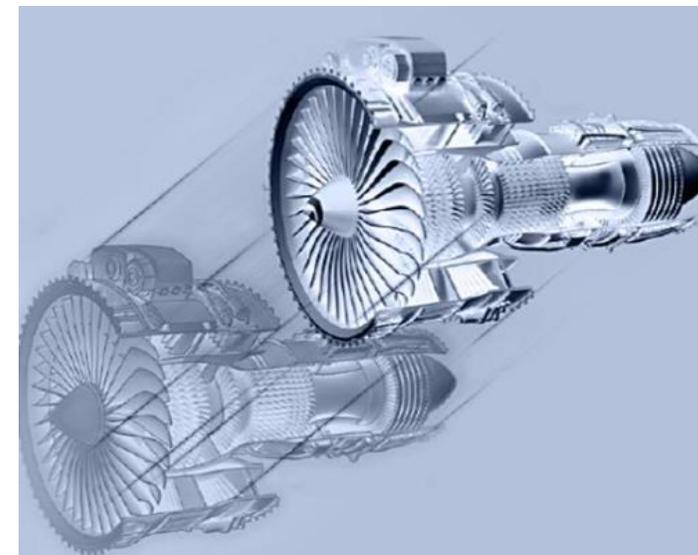


Рисунок 1 – Цифровой двойник

Цель и задачи

Целью представленной выпускной квалификационной работы является разработка программно-аппаратной части стенда с целью исследования цифрового двойника вентильного двигателя.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие **задачи**:

- ✓ Проанализировать предметную область;
- ✓ Определить требования к комплексу;
- ✓ Спроектировать архитектуру программного комплекса;
- ✓ Реализовать программно-аппаратный комплекс;
- ✓ Протестировать комплекс.

Анализ предметной области

Электродвигатель состоит из 3 основных частей:

- механическая;
- электромагнитная;
- преобразователь.

Двигатель ДБУ-210

- моментный;
- 100 об./мин.;
- момент 120 Н/м, что составляет 10 рад./с;
- 3 кВт.



Рисунок 2 – Двигатель ДБУ-210

Обзор аналогов



Рисунок 2 – Погружной электродвигатель

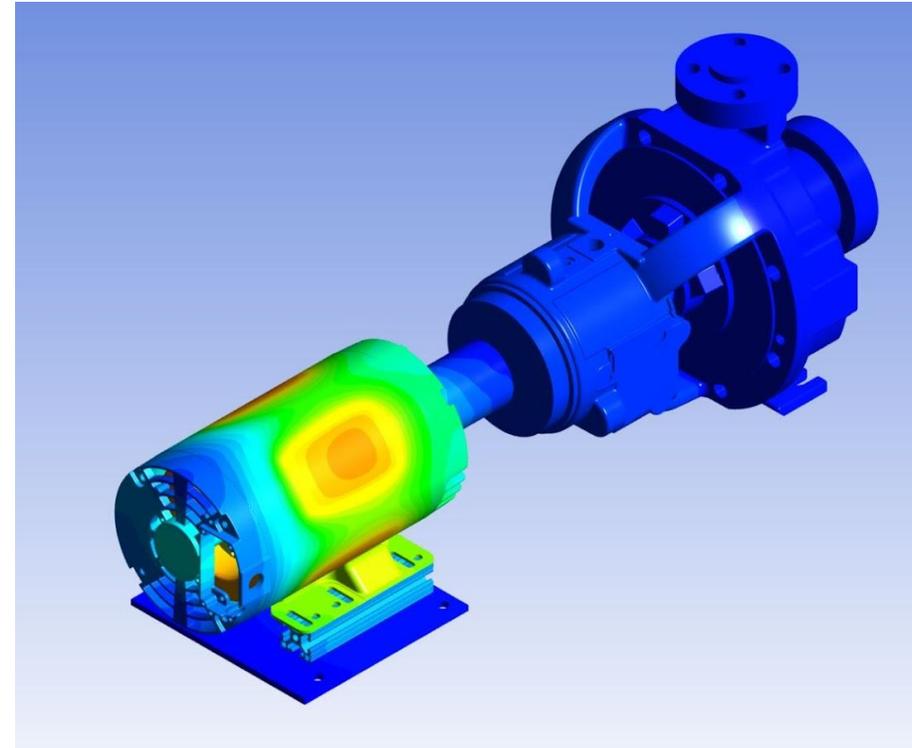


Рисунок 3 – Насос с электродвигателем

Результаты обзора

Таблица 1.

6

	ЦД погружного электродвигателя	ЦД насоса с электродвигателем	ЦД вентиляционного электродвигателя
Собственное ПО	+	- (в ПК Ansys)	+
Отечественная разработка	-	-	+
Простота использования	-	+	+
Модель с составе сложной технической системы	-	+	-
Визуализация процесса	-	+	-

ВЫЯВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КОМПЛЕКСУ

Функциональные требования

- разрешающая способность блока АЦП микроконтроллера должна составлять 12-bit для удовлетворительного шага дискретизации сигнала;
- наличие блока DMA (блока прямого доступа к памяти) для распределения задач МК;
- поддержка протокола SPI МК для передачи данных в вышестоящий уровень системы;
- обеспечение передачи данных между МК и сервером в формате big-endian по протоколу TCP, передача внутренними средствами Twin Builder в модель системного уровня.

Нефункциональные требования

- время установления связи между сервером и МК не должно превышать 30 секунд;
- комплект датчиков, состоящий из датчика тока, датчика магнитного поля, датчика температуры, должен быть установлен в каждую фазу электродвигателя;
- процесс передачи данных в программную среду должен длиться непрерывно после установления связи между МК и сервером.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Структурная схема стенда

11



Рисунок 4 – Структурная схема стенда для сбора информации цифрового двойника

Архитектура аппаратной части стенда

12

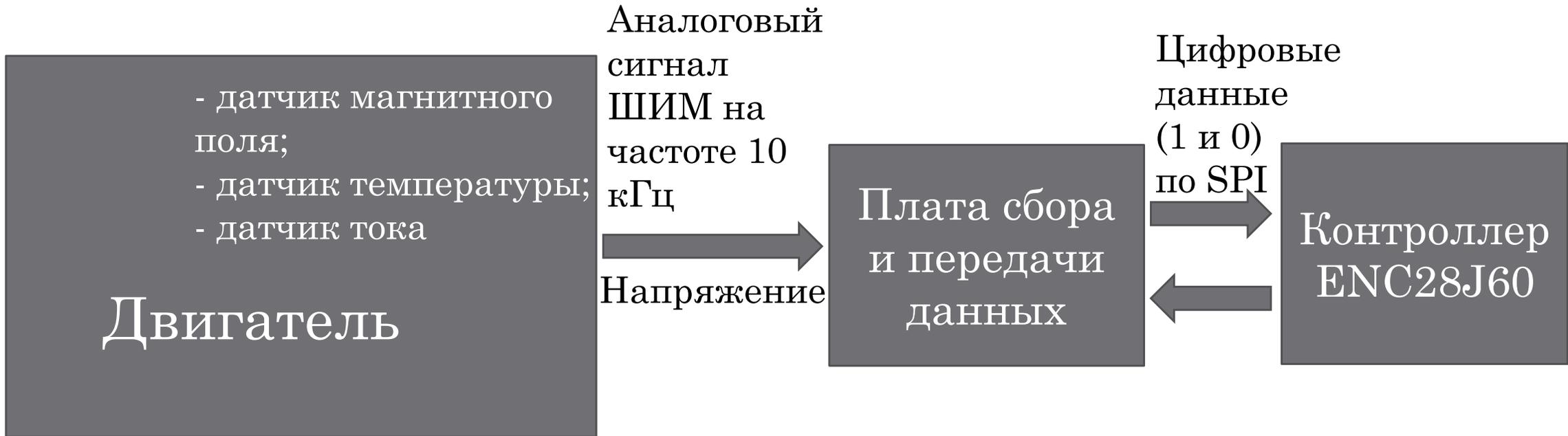


Рисунок 5 – Структурная схема аппаратной части

Архитектура программной части стенда

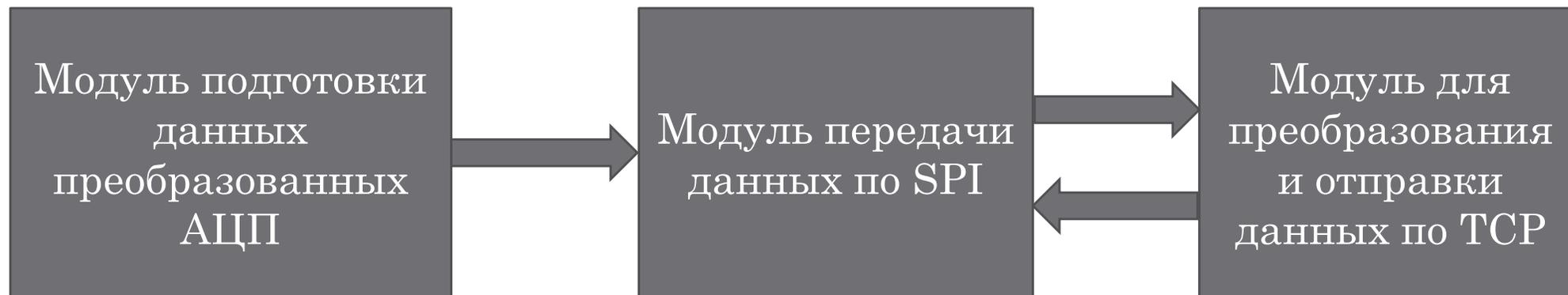
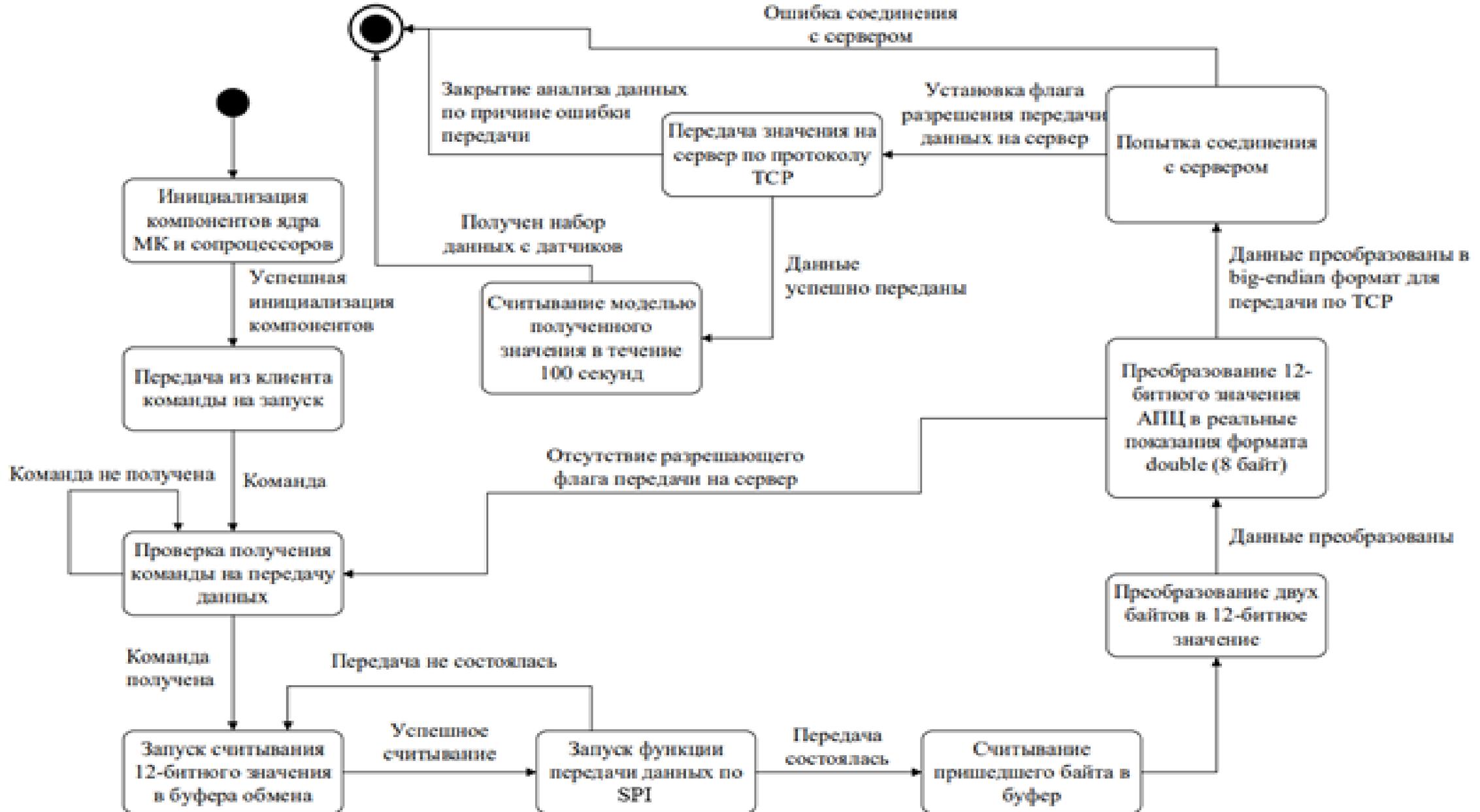


Рисунок 6 – Структурная схема программной части

Диаграмма состояний и переходов (UML)



Подбор компонентной базы



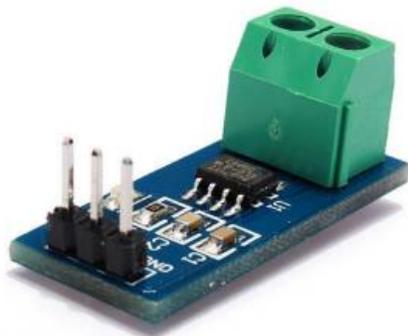
Датчик магнитного поля S49402



Датчик температуры L-серии



Микроконтроллер STM32F303



Датчик тока ACS712



Контроллер ENC28J60

Датчик температуры

По первому закону Кирхгофа $I_4 = I_2 + I_5$

Поскольку напряжение между инвертирующим входом и общей шиной $V_n - V_p$, ток

I_1 определяется соотношением $I_1 = (V_2 - V_p) / R_1$

Находим реальные значения для температуры:

$$U_{\text{АЦП}}^t = 2,5 - \frac{\Delta R}{R} (0,5 * 5 - 1,25);$$

$$R = R_0 * (1 + \alpha * t);$$

$$\Delta R = R - R_0 = R_0 + R_0 * \alpha * t - R_0 = R_0 * \alpha * t;$$

Температурный коэффициент (ТК) = 3850 ppm/K;

Напряжение на входе АЦП:

$$U_{\text{АЦП}} = 2,5 - 1,25 * \frac{R_0 * \alpha * t}{R_0} = 2,5 - 1,25 * \alpha * t;$$

$U_{\text{АЦП}} = \frac{U_{\text{Ц}} * 3,3}{4095}$, где $U_{\text{Ц}}$ – преобразованное напряжение после оцифровки;

$$\frac{U_{\text{Ц}} * 3,3}{4095} = 2,5 - 1,25 * \alpha * t;$$

$$\alpha = 0,00385;$$

$$t = \frac{-\frac{3,3 * U_{\text{Ц}}}{4095} + 2,5}{1,25 * \alpha};$$

$$t = \frac{-3,3 * U_{\text{Ц}} + 10237,5}{4095 * 1,25 * \alpha};$$

$$t = \frac{10237,5 - 3,3 * U_{\text{Ц}}}{19,707};$$

$$t = 519 - 0,167 * U_{\text{Ц}}.$$

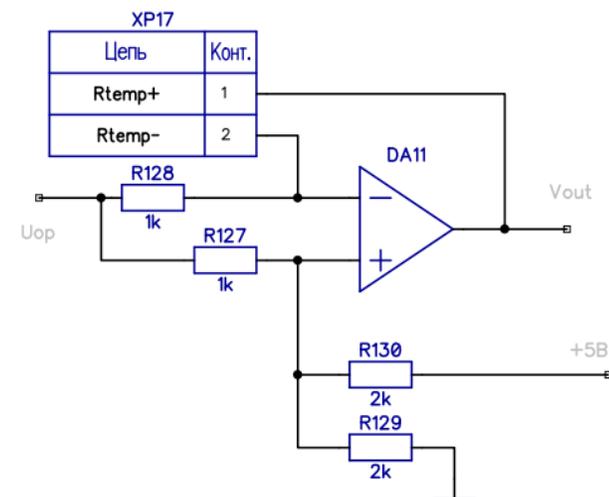


Рисунок 7 – Элемент датчика температуры в схеме электрической цепи

Датчик тока

$$U_{\text{Ц}}^I = U_{\text{АЦП}}^I * \frac{4095}{3,3}; U_{\text{АЦП}}^I = \frac{U_{\text{Ц}} * 3,3}{4095};$$

$$I = (U_{\text{АЦП}}^I * \frac{3}{2} - 2,5) * \frac{30}{2};$$

$$I = \left(\frac{U_{\text{Ц}}^{*3,3}}{4095} * \frac{3}{2} - 2,5 \right) * 15;$$

$$I = \frac{U_{\text{Ц}}^{*3,3}}{2730} * 15 - 37,5;$$

$$I = U_{\text{Ц}} * 0,0181 - 6825.$$

Цепь	Конт.
+5В	1
0V	2
U_dt_3	3

Рисунок 8 – Элемент датчика тока в схеме электрической цепи

Датчик магнитного поля

Находим реальные значения для магнитного поля:

$$0 \text{ Гс} - 2,5 \text{ В}; 420 \text{ Гс} - 4 \text{ В};$$

$$U \text{ (Гс)} = 2,5 + \beta * \text{Гс}; 4 = 2,5 + \beta * 420;$$

$$\beta = \frac{1,5}{420} = 0,00357 \text{ В/Гс};$$

$$U_{\text{АЦП}} = 2,5 + 0,00357 \text{ В (индукция)};$$

$$U_{\text{Ц}} = \frac{2}{3} * U_{\text{АЦП}} * \frac{4095}{3,3}; U_{\text{АЦП}} = \frac{U_{\text{Ц}} * 3,3 * 3}{4095 * 2};$$

$$B = \frac{9,9 * U_{\text{Ц}} - 2,5}{0,00357} = \frac{0,0012087 * U_{\text{Ц}} - 2,5}{0,00357};$$

$$B = 0,339 * U_{\text{Ц}} - 700,2.$$

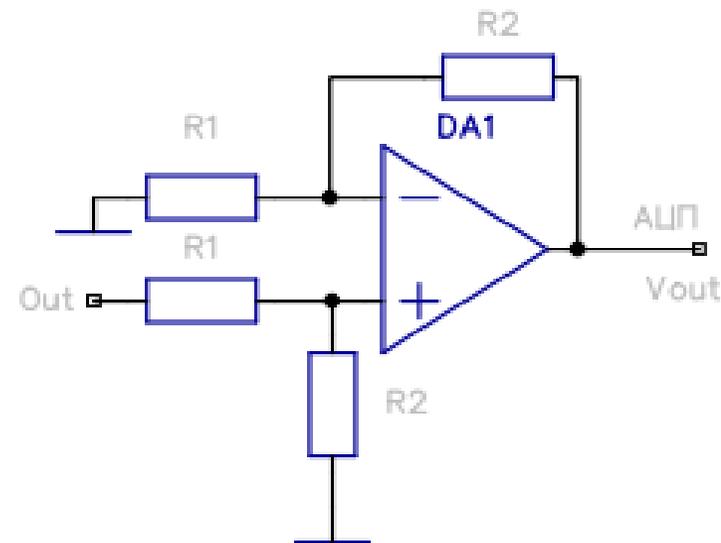


Рисунок 9 – Элемент датчика магнитного поля в схеме электрической цепи

Контроллер ENC28J60



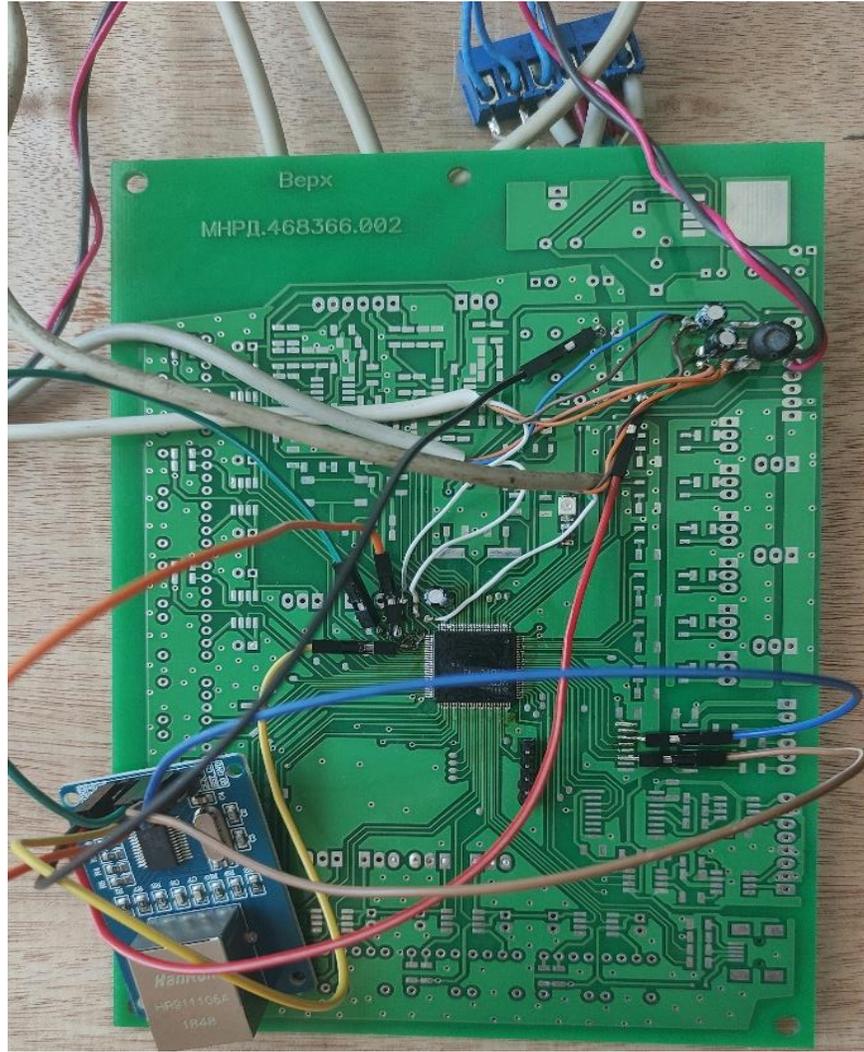
Рисунок 10 – Контроллер ENC28J60

Цепь	Конт.
+5V	1
GND	2
SO	3
SCK	4
SI	5
RST	6
CS	7
ST	8

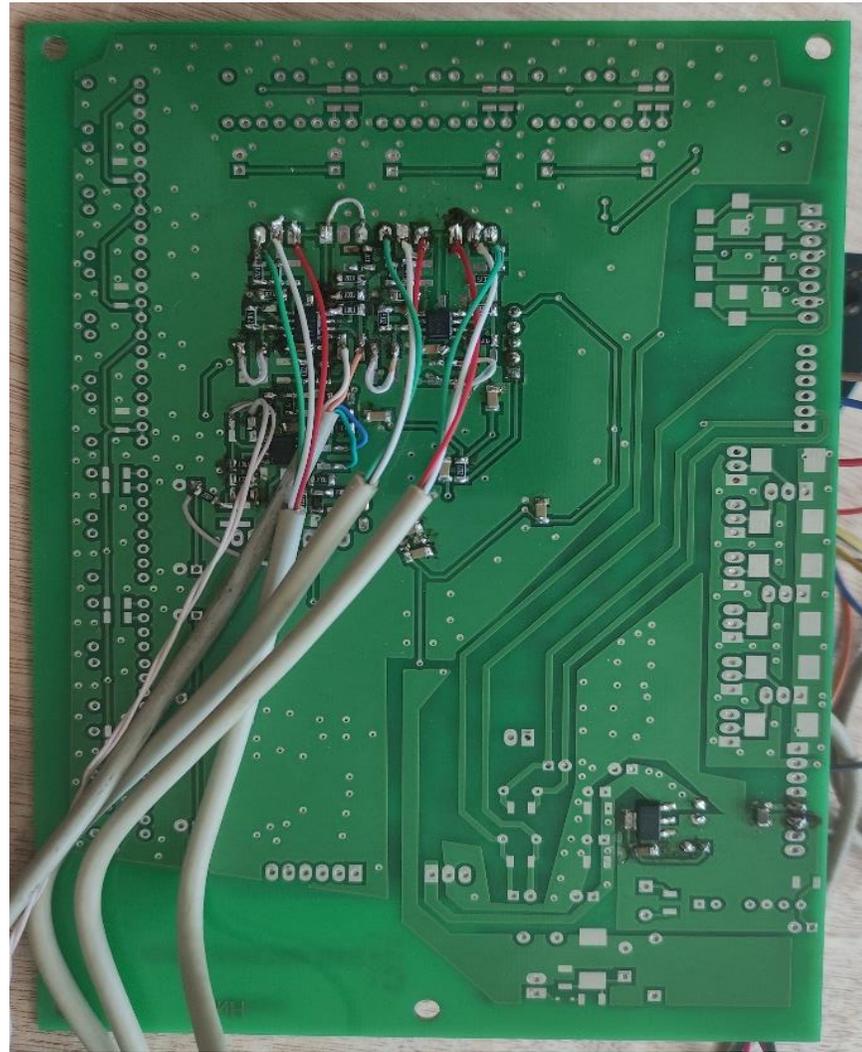
Рисунок 11 – Элемент контроллера в схеме электрической цепи

РЕАЛИЗАЦИЯ

Сборка макета



а)



б)

Рисунок 12 – Макет: а – лицевая сторона; б – тыльная сторона

Конечное представление комплекса



Рисунок 13 – Конечное представление комплекса в составе с двигателем ДБУ-210

Настройка и подключение контроллера

Для подключения микроконтроллера был выбран графический генератор кода STM32CubeMX.

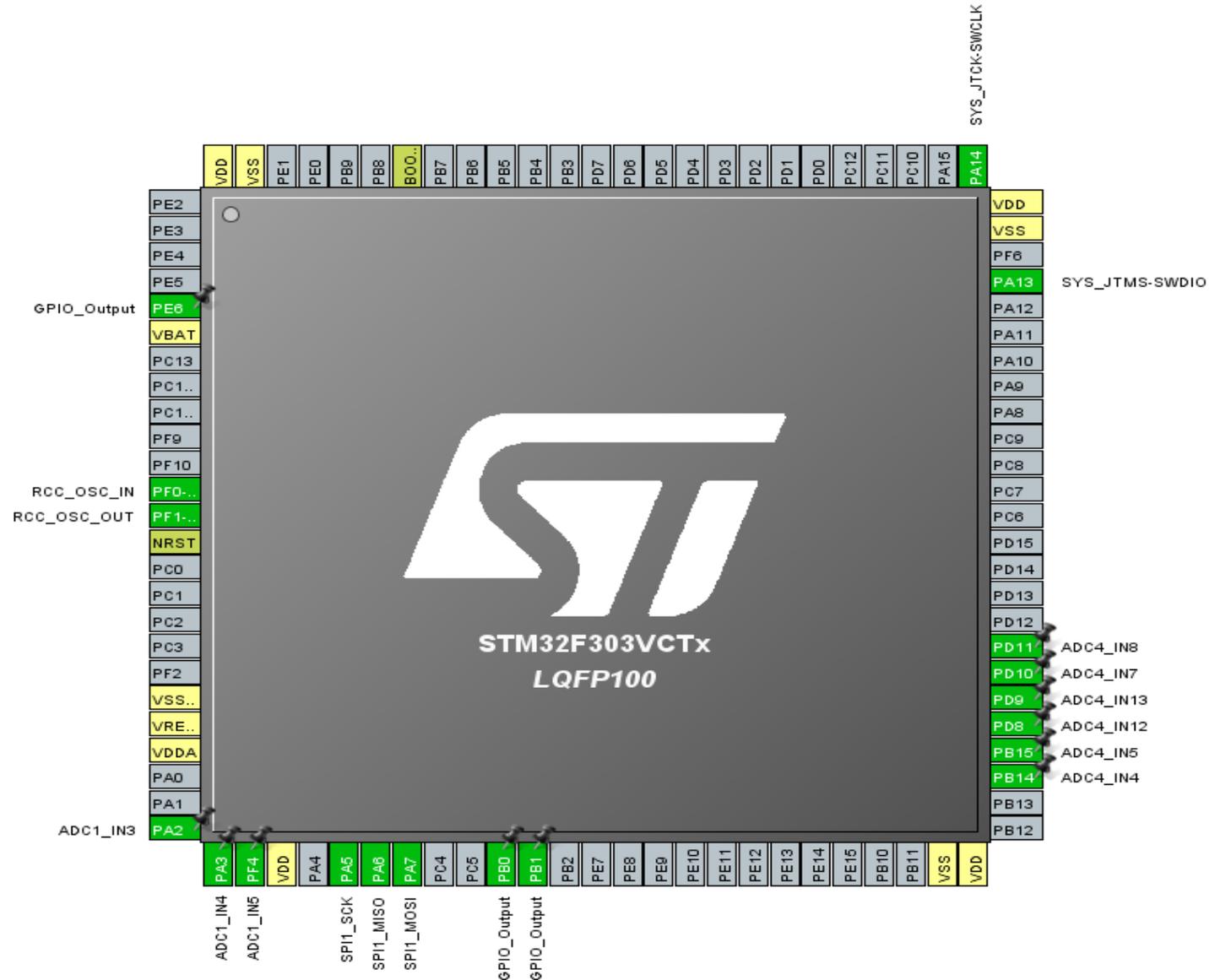


Рисунок 14 – Выводы

Используется внешний кварцевый резонатор на 8 МГц.

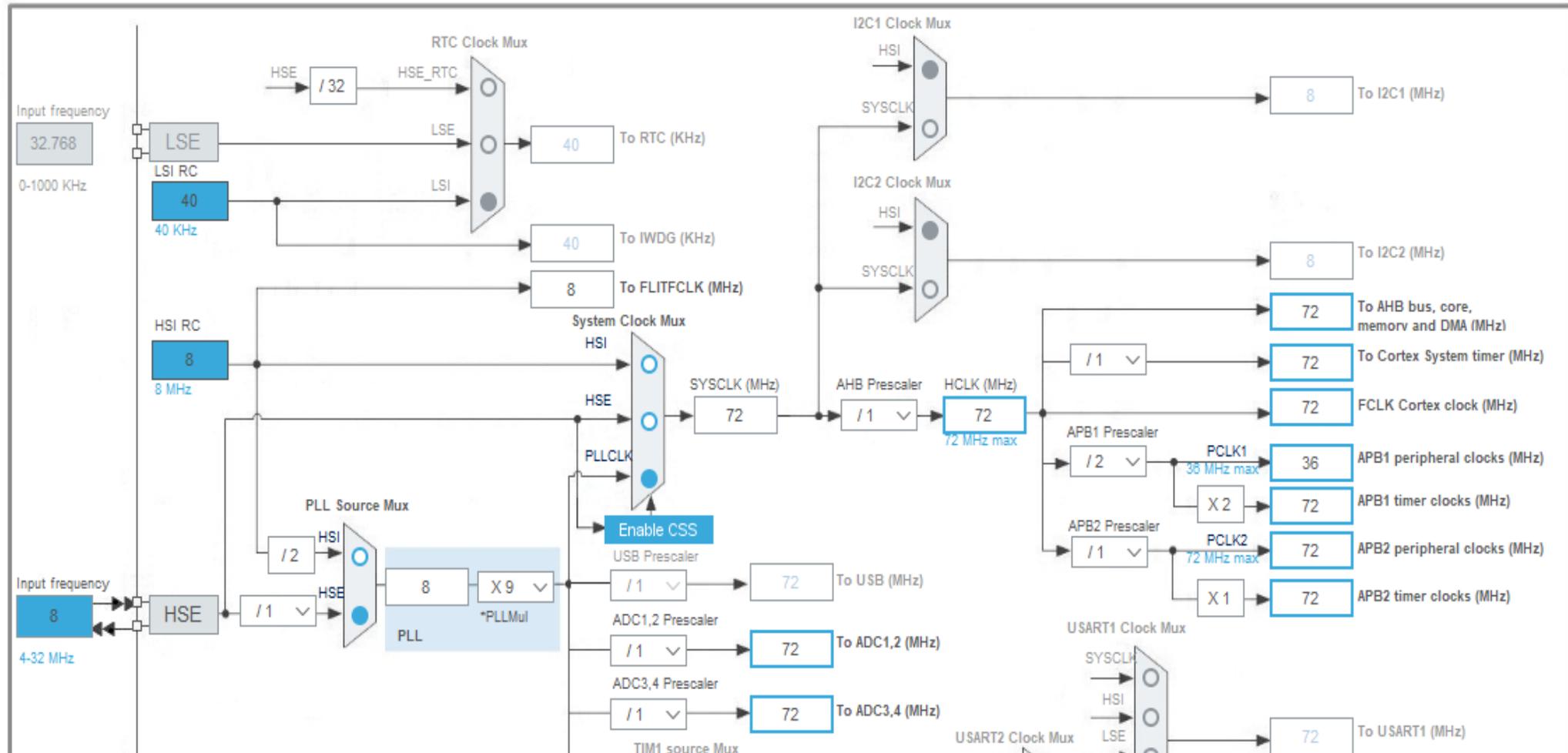
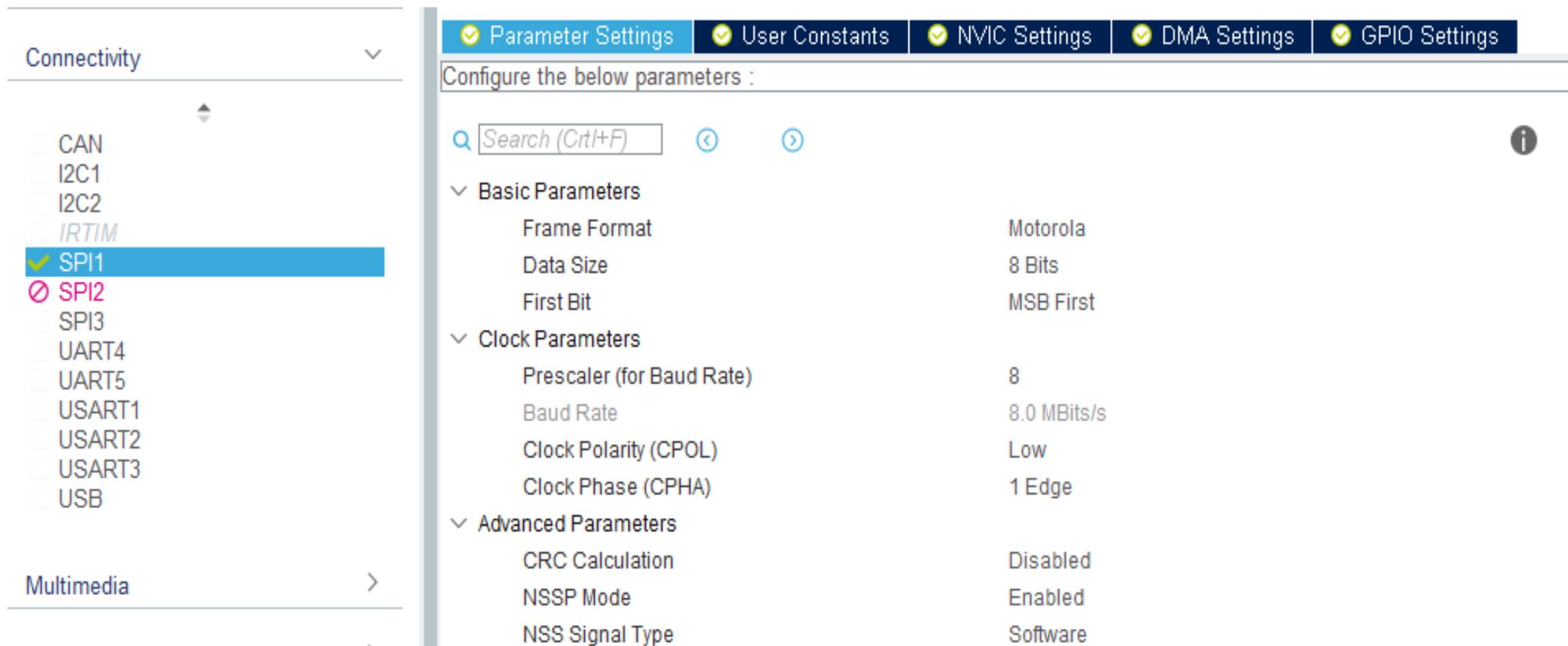


Рисунок 15 – Окно тактирования



Connectivity

- CAN
- I2C1
- I2C2
- IRTIM
- SPI1
- SPI2
- SPI3
- UART4
- UART5
- USART1
- USART2
- USART3
- USB

Multimedia

Parameter Settings User Constants NVIC Settings DMA Settings GPIO Settings

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

Basic Parameters

Frame Format	Motorola
Data Size	8 Bits
First Bit	MSB First

Clock Parameters

Prescaler (for Baud Rate)	8
Baud Rate	8.0 MBits/s
Clock Polarity (CPOL)	Low
Clock Phase (CPHA)	1 Edge

Advanced Parameters

CRC Calculation	Disabled
NSSP Mode	Enabled
NSS Signal Type	Software

Рисунок 16 – Настройка SPI

Прием и передача

- Прием и передача данных реализовывается с помощью кольцевых буферов, расположенных в RAM-памяти. Для этого выделено 8 КБ памяти.
- Запись в регистры.

Отправка кадра:

1. Происходит запись в регистр свободного адреса памяти, куда следующим шагом поместятся данные передаваемого кадра.
2. Данные в буфер помещаются с помощью команды Write Buffer Memory.
3. В регистр записывается конечный адрес, который соответствует размеру передаваемых данных.
4. Далее запускается процесс установкой бита.

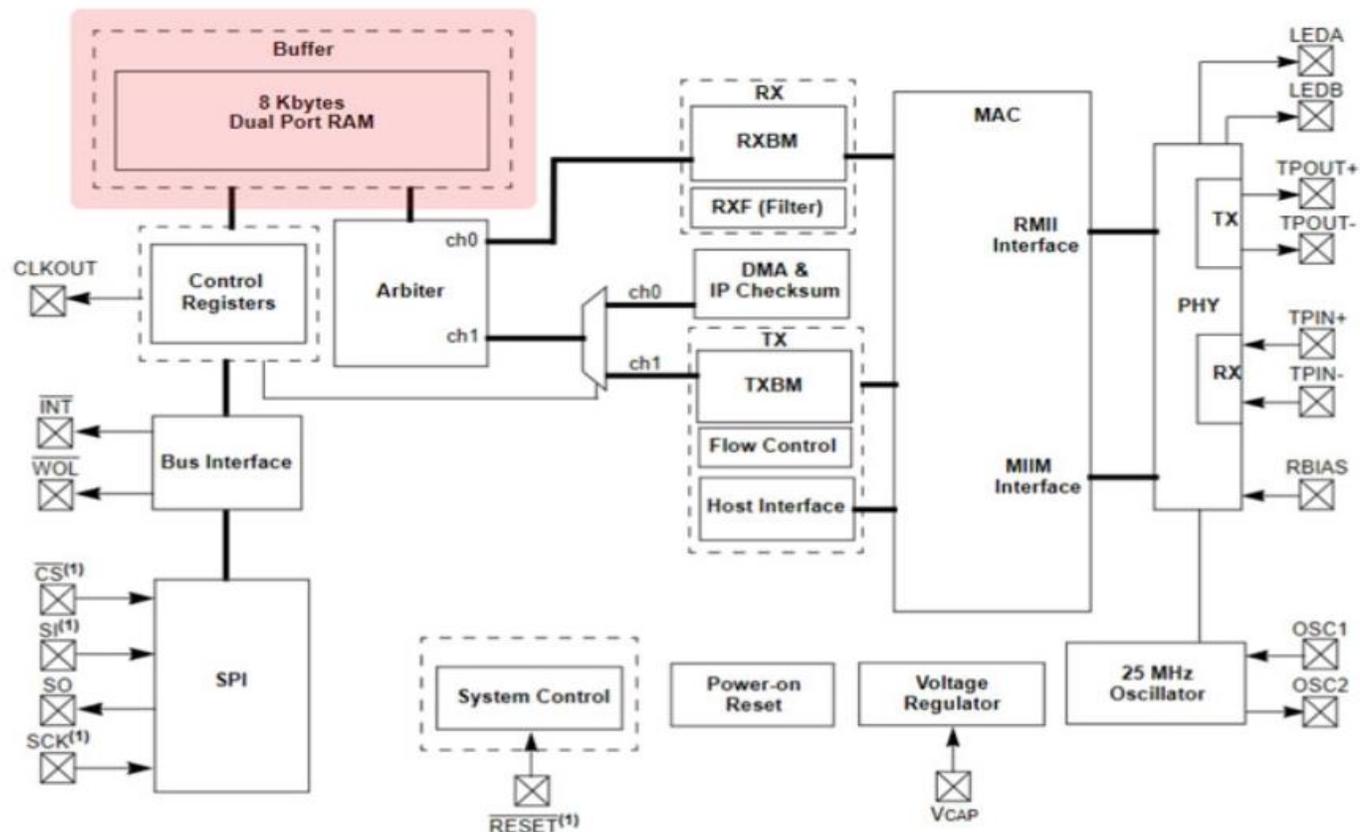


Рисунок 17 – RAM-память

ТЕСТИРОВАНИЕ

Результат тестирования

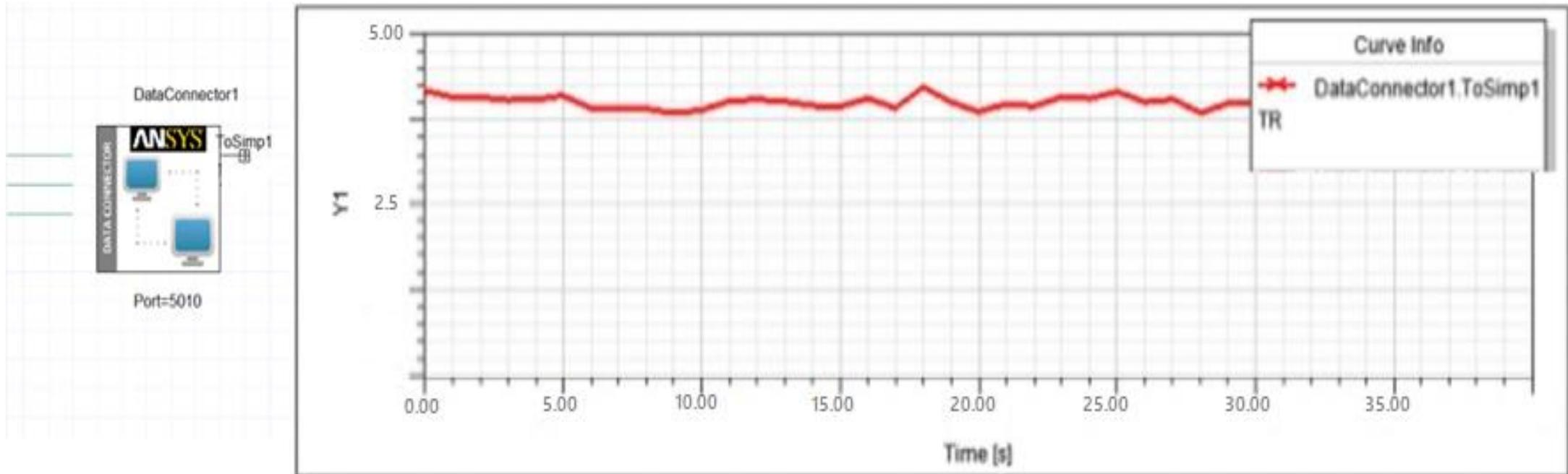


Рисунок 18 – Результат

Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы был спроектирован и реализован комплекс приёмопередатчика, готовый для передачи данных в ПК Ansys Twin Builder.

По ходу работы были решены следующие задачи:

- ✓ проанализирована предметная область на наличие существующих аналогов;
- ✓ выявлены функциональные и нефункциональные требования к разрабатываемому комплексу;
- ✓ спроектирована архитектура программного комплекса;
- ✓ реализован программно-аппаратный комплекс;
- ✓ произведена тестовая передача данных в ПК Ansys Twin Builder.

Спасибо за внимание!