



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Работа выполнена в СКБ «Промышленная робототехника»

СОГЛАСОВАНО

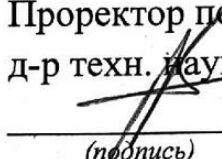
Начальник отдела ОНиПКРС

  
(подпись) Е.М. Димитриади  
« 25 » 12 20 23 г.

Декан ФЭУ  
  
(подпись) А.С. Гудим  
« 25 » 12 20 23 г.

УТВЕРЖДАЮ


Проректор по научной работе,  
д-р техн. наук, профессор

  
(подпись) А.В. Космынин  
« 25 » 12 20 23 г.

**Аппаратно-программный комплекс**  
**«Микроконтроллерная система управления скоростью**  
**электродвигателя постоянного тока»**


**Комплект конструкторской документации**

Руководитель СКБ

  
25.12.2023  
(подпись, дата)

С.И. Сухоруков

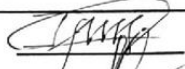

Руководитель проекта

  
25.12.2023  
(подпись, дата)

В.А. Егоров

Комсомольск-на-Амуре 2023

### Карточка проекта

Название	Микроконтроллерная система управления скоростью электродвигателя постоянного тока		
Тип проекта	<u>учебная работа</u>		
Исполнители	Студент		Ф.В. Грищенко – 1ЭЛБ-1
	Студент		А.М. Поточеский – 1ЭЛБ-1
Срок реализации	22.09.2023 – 30.12.2023		

### Использованные материалы и компоненты

Наименование	Количество, шт.
Микроконтроллер (ATMEGA328P)	1
Драйвер двигателя (L298n)	1
Операционный уселитель (LM358)	2
Резисторы 800 Ом	2
Резисторы 1000 Ом	7
Резисторы 5100 Ом	1
Резисторы 10000 Ом	5
Конденсаторы 0.000001 Ф	2
Транзистор N-P-N (2N222)	1
Потенциометр 10000 Ом	1
Ключ (SW-SPST)	1
ДПТ (MOTOR-DC)	1
ТГ (MOTOR-DC)	1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ  
на разработку

Название проекта: Микроконтроллерная система управления скоростью электродвигателя постоянного тока

Назначение: управление скоростью вращения вала электродвигателя электроинструмента

Область использования: бытовое применение

Функциональное описание проекта: система позволяет регулировать скорость вращения вала электроинструмента с электродвигателем постоянного тока

Техническое описание устройства: Блок управления, содержащий: систему управления скоростью вращения вала электродвигателя; датчик скорости; схему коммутации электродвигателя; клавиатуру; цифровой индикатор для отображения текущей скорости; блок питания с выходным напряжением +5В

Требования: возможность реверса; напряжение питания электродвигателя – 24 вольта; мощность электродвигателя – до 200 ватт.

План работ:

Наименование работ	Срок
Разработка блок схемы устройства	09.2023
Разработка принципиальной схемы устройства	09.2023
Разработка алгоритмов управления	10.2023
Разработка ПО	10.2023
Тестирование программного кода на имитационной модели	11.2023
Реализация прототипа устройства	12.2023

Комментарии:

---

---

---

---

---

Перечень графического материала:

1. Принципиальная схема;
2. Чертежи изделия (или трехмерные модели изделия);
3. Внешний вид изделия;
4. Блок-схема алгоритмов (при наличии управляющих программ);

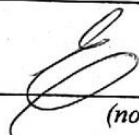
---

---

---

---

Руководитель проекта



12.09.2023


(подпись, дата)

В.А. Егоров

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

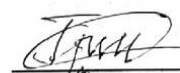

**ПАСПОРТ**  
**Аппаратно-программный комплекс**  
**«Микроконтроллерная система управления скоростью**  
**электродвигателя постоянного тока»**

Руководитель проекта

 25.12.2023  
(подпись, дата)

В.А. Егоров

Исполнители проекта

 25.12.2023  
(подпись, дата)  
 25.12.2023  
(подпись, дата)

Ф.В. Грищенко

А.М. Поточеский

Комсомольск-на-Амуре 2023

## Содержание

1	Общие положения .....	7
1.1	Наименование изделия .....	7
1.2	Наименования документов, на основании которых ведется проектирование изделия.....	7
1.3	Перечень организаций, участвующих в разработке изделия .....	7
1.4	Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах .....	8
2	Назначение и принцип действия .....	9
2.1	Назначение изделия .....	9
2.2	Области использования изделия .....	9
2.3	Принцип действия изделия .....	9
3	Состав изделия и комплектность.....	10
4	Технические характеристики.....	11
5	Устройство и описание работы изделия .....	12
5.1	Устройство изделия .....	12
5.2	Описание работы изделия .....	13
5.3	Расчёт регулятора.....	14
5.3.1	Настройка контура скорости на модульный технический оптимум .....	14
5.3.2	Структурная схема ПИ – регулятора с ограничением выходного сигнала .....	17
5.3.3	Уравнения ПИ – регулятора.....	17
6	Условия эксплуатации .....	18
6.1	Правила и особенности размещения изделия .....	18
6.2	Меры безопасности.....	18
6.3	Правила хранения и транспортирования.....	19
	ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	20
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	24
	ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	32

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		6

## **1 Общие положения**

Настоящий паспорт является документом, предназначенным для ознакомления с основными техническими характеристиками, устройством, правилами установки и эксплуатации устройства «Микроконтроллерная система управления скоростью электродвигателя постоянного тока» (далее «изделие»).

Паспорт входит в комплект поставки изделия. Прежде, чем пользоваться изделием, внимательно изучите правила обращения и порядок работы с ним. В связи с постоянной работой по усовершенствованию изделия, повышающей его надежность и улучшающей условия эксплуатации, в конструкцию могут быть внесены изменения, не отраженные в данном издании.

### **1.1 Наименование изделия**

Полное наименование изделия – аппаратно-программный комплекс «Микроконтроллерная система управления скоростью электродвигателя постоянного тока» (АПК МКСУСЭДПТ).

### **1.2 Наименования документов, на основании которых ведется проектирование изделия**

Проектирование АПК МКСУСЭДПТ осуществляется на основании требований и положений следующих документов:

- задание на разработку.

### **1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке изделия**

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		7

Заказчиком проекта АПК МКСУСЭДПТ является Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (далее заказчик), находящийся по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, Ленина пр-кт., д. 17.

Исполнителями проекта АПК МКСУЭДПТ являются студенты ФЭУ группы 1ЭЛб-1, Грищенко Филипп Васильевич, Поточеский Антон Михайлович.

#### **1.4 Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах**

При проектировании использованы следующие нормативно-технические документы:

ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации. Общие положения.

ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.

ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.610-2006. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.

ГОСТ 2.004-88. Единая система конструкторской документации. Общие требования к выполнению конструкторских технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.

ГОСТ 2.051-2006. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.

ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

ГОСТ 2.601-2013. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		8



## 2 Назначение и принцип действия

### 2.1 Назначение изделия

Микроконтроллерная система управления скоростью электродвигателя постоянного тока – система управления, предназначенная для регулирования скорости двигателя постоянного тока. Устройство позволяет вращать двигатель как в прямом, так и в реверсивном режимах.

В состав изделия входят: Микроконтроллер ATMEGA328P, драйвер двигателя L298n, операционный усилитель LM358, двигатель, тахогенератор, источник питания +12 В.

### 2.2 Области использования изделия

Изделие может применяться для бытовых нужд, используя в электроинструментах.

### 2.3 Принцип действия изделия

Пользователь включает устройство, вводит на терминале четырёхразрядный код, который соответствует направлению вращения этого двигателя. Аналогичным способом можно остановить двигатель.

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		9

### 3 Состав изделия и комплектность

В комплект поставки входит:

- Плата устройства.
- Сетевой питающий адаптер.
- Паспорт.

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		10

#### 4 Технические характеристики

Основные технические характеристики АПК МКСУСЭДПТ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики блока МКСУСЭДПТ

Наименование параметра	Значение
Интерфейс связи	USART
Потребляемый ток, мА	170
Питание блока управления, В	5
Питание драйвера двигателя, В	0 – 48
Реализуемые законы управления	ПИ
Разрядность АЦП	10
Частота ШИМ выходного сигнала, Гц	2000
Разрядность ШИМ	10
Габариты, мм	160x60x25
Масса нетто, кг	0.2

## 5 Устройство и описание работы изделия

### 5.1 Устройство изделия

Изделие представляет собой макет замкнутой САУ с последовательной коррекцией. Оно состоит из последовательно соединенных регулятора и объекта управления, охваченных отрицательной обратной связью.

Объект и регулятор реализованны с использованием собственного микроконтроллера. Структурная схема изделия представлена на рисунке 1.

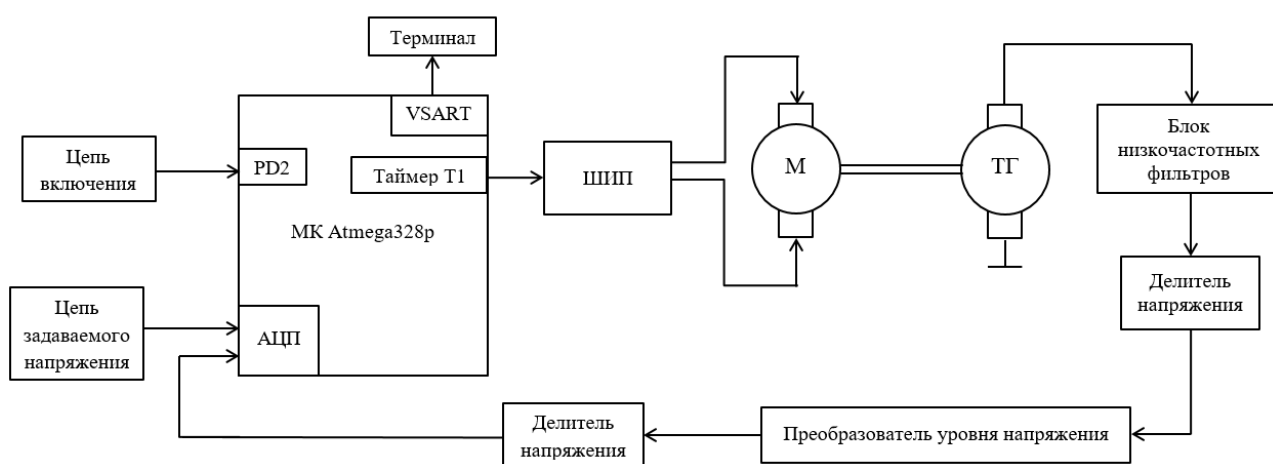


Рисунок 1 – Структурная схема изделия

Микроконтроллер – регулятор получает сигнал обратной связи с выхода устройства через АЦП. Вычисляет разность между сигналом задания и сигналом обратной связи. Выполняет вычисление управляющего сигнала на объект, в соответствии с реализованным алгоритмом работы цифрового регулятора. Результат вычисления выходного сигнала регулятора записывается в регистр сравнения таймера Т1. Таймер Т1 генерирует ШИМ пропорциональный выходному сигналу регулятора. Блок низкочастотных фильтров отфильтровывает высокочастотные составляющие и формирует выходной сигнал регулятора. Сигнал управления, с выхода регулятора поступает на вход АЦП объекта. Микроконтроллер – решает разностные уравнение описывающие регулятор. Результат решения, записывается в

									Лист
									12
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.	СКБФЭУ.1.ИП.01000000				

регистр сравнения таймера T1. Таймер T1 генерирует ШИМ пропорциональный скорости двигателя. На вал двигателя посажен тахогенератор, вырабатывающий ЭДС, пропорциональный скорости вращения вала двигателя. Блок низкочастотных фильтров отфильтровывает высокочастотные составляющие выходного сигнала тахогенератора и формирует сигнал обратной связи по скорости.

Через интерфейс программирования USART производится запись программы в микроконтроллер – регулятор, содержащей реализуемый закон управления. Контроль переменных системы на экране терминала.

Устройство питается от блока питания с выходным напряжением 12В, для получения напряжения питания микроконтроллера +5В используется понижающий преобразователь напряжения. Принципиальная схема изделия представлена в Приложении В.

## 5.2 Описание работы изделия

Подключить питание от сети постоянного тока через блок питания 12 В к устройству.

Подключить двигатель к блоку управления скоростью.

Подключить блок управления скоростью к персональному компьютеру через виртуальный СОМ-порт.

Запустить на ПК терминальную программу.

Запустить изделие нажатием на кнопку «Пуск».

Задать скорость вращения двигателя переменным резистором блоком управления скоростью.

Наблюдать в терминальной программе значение скорости вращения вала электродвигателя.

Полученное изделие может использоваться в бытовых нуждах.

Блок-схемы управляющей программы регулятора представлены в Приложении Б.

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		13

### 5.3 Расчёт регулятора

Определим передаточную функцию регулятора скорости:

$$W_{ЖР}(p) = W_{РС}(p) \cdot W_{ОС}(p)$$

$$W_{РС}(p) = \frac{W_{ЖР}(p)}{W_{ОС}(p)}$$

#### 5.3.1 Настройка контура скорости на модульный технический оптимум

Желаемая передаточная функция разомкнутой системы настроенная на модульный оптимум имеет вид:

$$W_{ЖРМО}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}$$

где  $T_{\mu}$  - эквивалентная малая постоянная времени объекта.

Передаточная функция электродвигателя:

$$W_{ДС}(p) = \frac{\frac{1}{C_E}}{T_{Я} \cdot T_{ЭМ} \cdot p^2 + T_{ЭМ} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{C_E}}{T_{ЭМ} \cdot p + 1}$$

Тогда, передаточная функция объекта имеет вид:

$$W_{ОС}(p) = \frac{\frac{1}{C_E}}{T_{ЭМ} \cdot p + 1} \cdot k_{СП} \cdot k_{ТГ} \cdot k_{ДС} \cdot k_{АЦП}$$

Пусть  $T_{\mu} = T_{ЭМ}$ , следовательно, передаточная функция регулятора скорости:

$$\begin{aligned} W_{РС}(p) &= \frac{1}{2T_{ЭМ} \cdot p \cdot (T_{ЭМ} \cdot p + 1)} \cdot \frac{(T_{ЭМ} \cdot p + 1) \cdot C_E}{k_{СП} \cdot k_{ТГ} \cdot k_{ДС} \cdot k_{АЦП}} \\ &= \frac{C_E}{2T_{ЭМ} \cdot p \cdot k_{СП} \cdot k_{ТГ} \cdot k_{ДС} \cdot k_{АЦП}} \end{aligned}$$

$$k_{PC} = \frac{C_E}{k_{СП} \cdot k_{ТГ} \cdot k_{ДС} \cdot k_{АЦП}}$$

$$T_{PC} = 2T_{ЭМ}$$

Получим окончательную формулу передаточной функции регулятора:

$$W_{PC}(p) = k_{PC} \cdot \frac{1}{T_{PC} \cdot p}$$

Произведём численные расчеты регулятора для ДПТ РИУТ-6, который имеет следующие параметры:

$$U_H = 30 \text{ В}; M_H = 0.1 \text{ Н} \cdot \text{м}; n_H = 3000 \text{ об/мин}; R_{Я} = 2.5 \text{ Ом}; \\ T_{Я} = 0.0014 \text{ с}; T_{ЭМ} = 0.038 \text{ с}; U_{СПН} = 22.5 \text{ В}; U_{ДС} = 2.5 \text{ В};$$

Рассчитаем  $C_E$ , рад/с:

$$C_E = \frac{U_H}{\omega_H}$$

$$C_E = \frac{30}{3000 \cdot \frac{\pi}{30}} = \frac{30}{314} = 10$$

Передаточная функция двигателя имеет вид:

$$W_{ЯД}(p) = \frac{1}{T_{Я}p + 1}$$

$$W_{ЯД}(p) = \frac{1}{0.0014p + 1} = \frac{0.4}{0.0014p + 1}$$

Рассчитаем коэффициент двигателя  $k_{ДВ}$

$$k_{ДВ} = \frac{1}{C_E}$$

$$k_{ДВ} = \frac{1}{0.1} = 10$$

Рассчитаем коэффициент тахогенератора  $k_{ТГ}$ , (В·с)/рад:

$$k_{ТГ} = \frac{U_{ВЫХ}}{\omega_H}$$

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		15

$$k_{ТГ} = \frac{9}{314} = 0.029$$

Расчитаем скорость двигателя  $\omega_d$ , рад/с:

$$\omega_d = U_{СПН} \cdot k_{ДВ}$$

$$\omega_d = 22.5 \cdot 10 = 225$$

Расчитаем напряжение тахогенератора  $U_{ТГ}$ , В:

$$U_{ТГ} = k_{ТГ} \cdot \omega_d$$

$$U_{ТГ} = 0.029 \cdot 225 = 6.5$$

Расчитаем коэффициент датчика скорости  $k_{ДС}$ :

$$k_{ДС} = \frac{U_{ДС}}{U_{ТГ}}$$

$$k_{ДС} = \frac{2.5}{6} = 0.38$$

Расчитаем коэффициент АЦП  $k_{АЦП}$ , (д.ед.)/В:

$$k_{АЦП} = \frac{256}{5} = 51$$

Расчитаем коэффициент  $k_{СП}$ , В/(д.ед.):

$$k_{СП} = \frac{22.5}{1024} = 0.022$$

Расчитаем коэффициент регулятора скорости  $k_{РС}$ :

$$k_{РС} = \frac{0.1}{0.022 \cdot 0.029 \cdot 0.38 \cdot 51} = 8.09$$

Расчитаем регулятор скорости:

$$W_{РС}(p) = k_{РС} \cdot \frac{1}{T_{РС} \cdot p}$$

При  $T_{РС} = 0.076$

$$W_{РС}(p) = 8.09 \cdot \frac{1}{0.076 \cdot p}$$



### 5.3.2 Структурная схема ПИ – регулятора с ограничением выходного сигнала

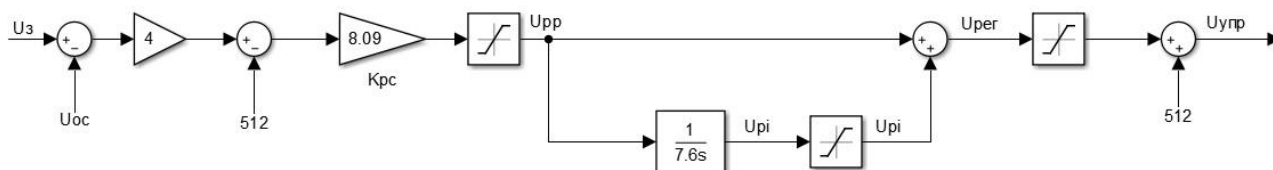


Рисунок 2 – Структурная схема ПИ – регулятора

### 5.3.3 Уравнения ПИ – регулятора

$$Err=(Uz-Uoc)*4.0-512;$$

$$URP=Kr* Err;$$

$$\text{if } (URP > -254) \ \&\&(URPP < 254) \ URPP = URPP;$$

$$\text{if } (URP > -254) \ \&\&(URPP \geq 254) \ URPP = 254;$$

$$\text{if } (URP > -254) \ \&\&(URPP \leq -254) \ URPP = -254;$$

$$URI = URI + (TK * URPP) / T1;$$

$$\text{if } (URI > -254) \ \&\&(URI < 254) \ URI = URI;$$

$$\text{if } (URI > -254) \ \&\&(URI \geq 254) \ URI = 254;$$

$$\text{if } (URI > -254) \ \&\&(URI \leq -254) \ URI = -254;$$

$$UREG = URPP + URI$$

## 6 Условия эксплуатации

Изделие выпускается в климатическом исполнении УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69 и предназначен для использования в стационарных условиях в закрытых помещениях при соответствующих климатических условиях:

- интервал температур от +10 до +35 °С;
- относительная влажность воздуха до 80 % при температуре +25 °С;
- высота над уровнем моря не более 2000 м;
- атмосферное давление от 86,6 до 106 кПа (от 650 до 800 мм рт. ст.).

В помещении, где используется изделие не должно возникать условий для конденсации влаги (выпадения росы). Для обеспечения безотказной работы, сохранения точности и его сбережения необходимо соблюдать следующие правила:

- изучить паспорт, прежде чем приступить к работе с изделием;
- предохранять изделие от ударов и повреждений;
- не допускать самостоятельную разборку изделия.

### 6.1 Правила и особенности размещения изделия

Изделие должно быть расположено на расстоянии не менее 1 м от нагревательных приборов.

**ВНИМАНИЕ!** При эксплуатации изделия запрещается проводить самостоятельно какие-то либо работы по извлечению и установке внутренних компонентов изделия.

### 6.2 Меры безопасности

Необходимо соблюдать требования техники безопасности и следующие меры предосторожности:

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		18

- не оставлять изделие включенным без наблюдения;
- после транспортировки в холодное время года изделие необходимо выдержать при комнатной температуре не менее двух часов;
- внутренние осмотры и ремонт изделия должны производиться только квалифицированными специалистами;
- не устанавливайте изделие на неустойчивой подставке, стойке или ненадежном кронштейне.

### **6.3 Правила хранения и транспортирования**

Транспортирование изделия в упакованном виде может производиться железнодорожным, автомобильным (в закрытых транспортных средствах), воздушным, речным и морским видами транспорта в соответствии с правилами перевозок грузов, действующих на транспорт данного вида. Условия транспортирования изделия по части воздействия климатических факторов должны соответствовать группе 5 по ГОСТ 15150.

После транспортирования изделие должно быть выдержано не менее 2 часов в транспортной таре при температуре  $20 \pm 5$  °С и относительной влажности воздуха не более 80 %.

Распакованное изделие должно храниться в отапливаемом и вентилируемом чистом помещении при температуре от +5 до +40 °С и относительной влажности воздуха не более 60 %. При температуре ниже 25 °С допускается увеличение относительной влажности до 80 %. Воздух в помещении не должен содержать примесей, вызывающих коррозию металлов, налеты на поверхностях оптических деталей.

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		19

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Внешний вид устройства представлен на рисунке А1

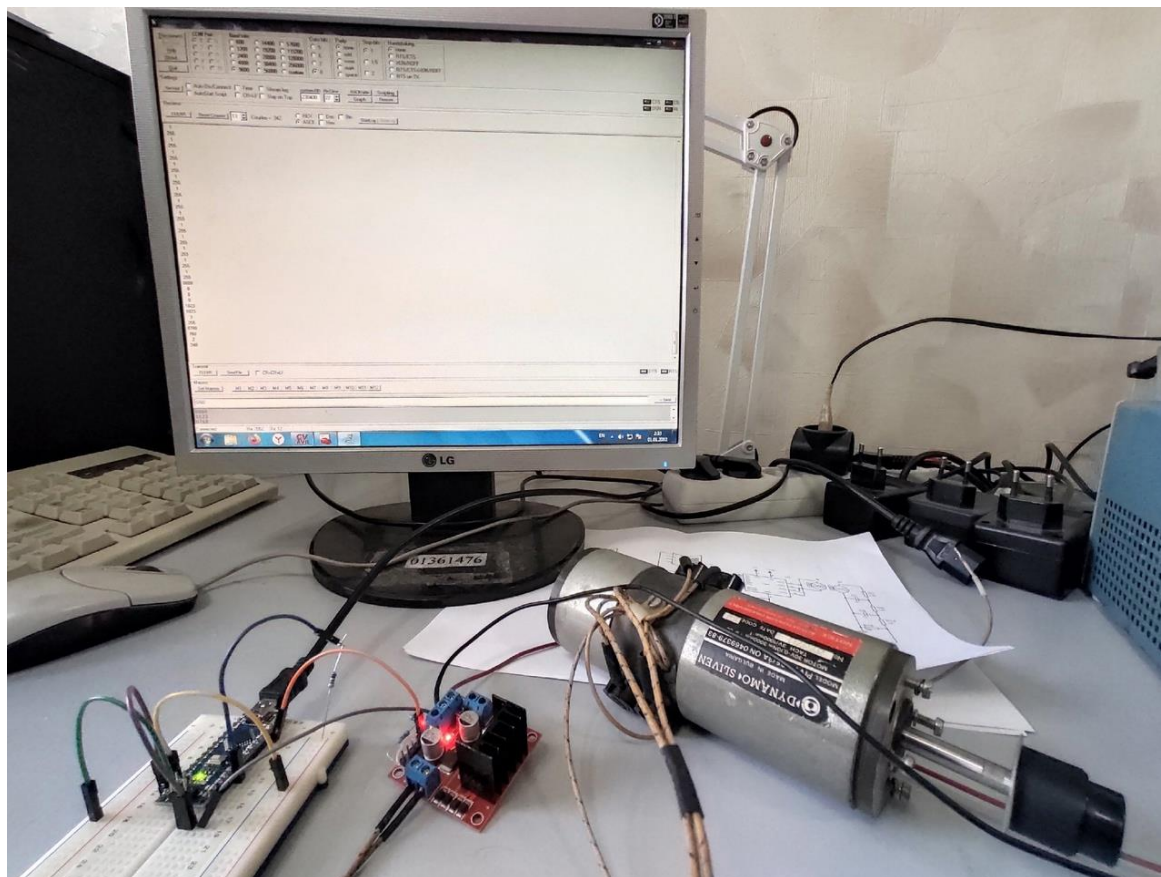


Рисунок А1 – Внешний вид устройства

Опишем регулирование скорости двигателя. При подаче питания на систему загораются индикаторы питания – система включилась. При замыкании ключа «START» слышен характерный шум ШИМ – сигнала, соответствующий частоте 2 кГц. При этом двигатель не вращается (остановлен).

Зададим направление вращения двигателя, соответствующее положительному напряжению. Для этого в терминал необходимо ввести четырёхразрядный десятичный код 1023, так как таймер сигнала ШИМ десятиразрядный и этим числом задаётся максимально возможная положительная амплитуда напряжения. Введём значение в терминал:

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		20

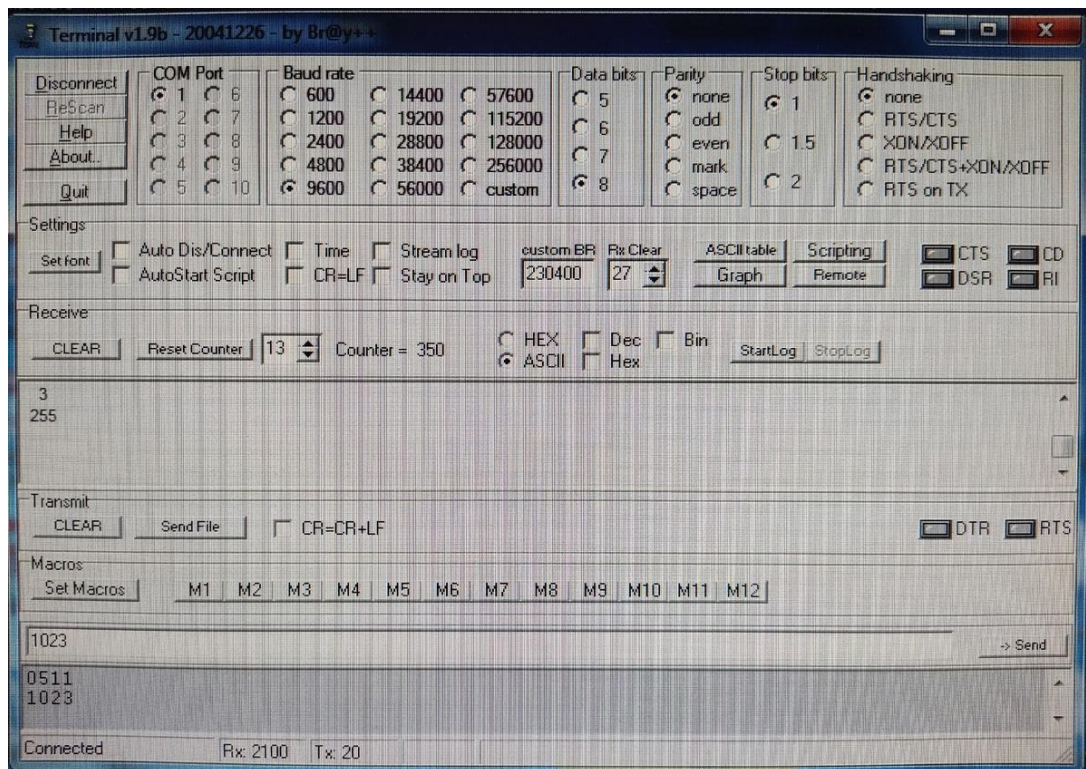


Рисунок А2 – Четырёхразрядный десятичный код, соответствующий вращению двигателя при положительном напряжении

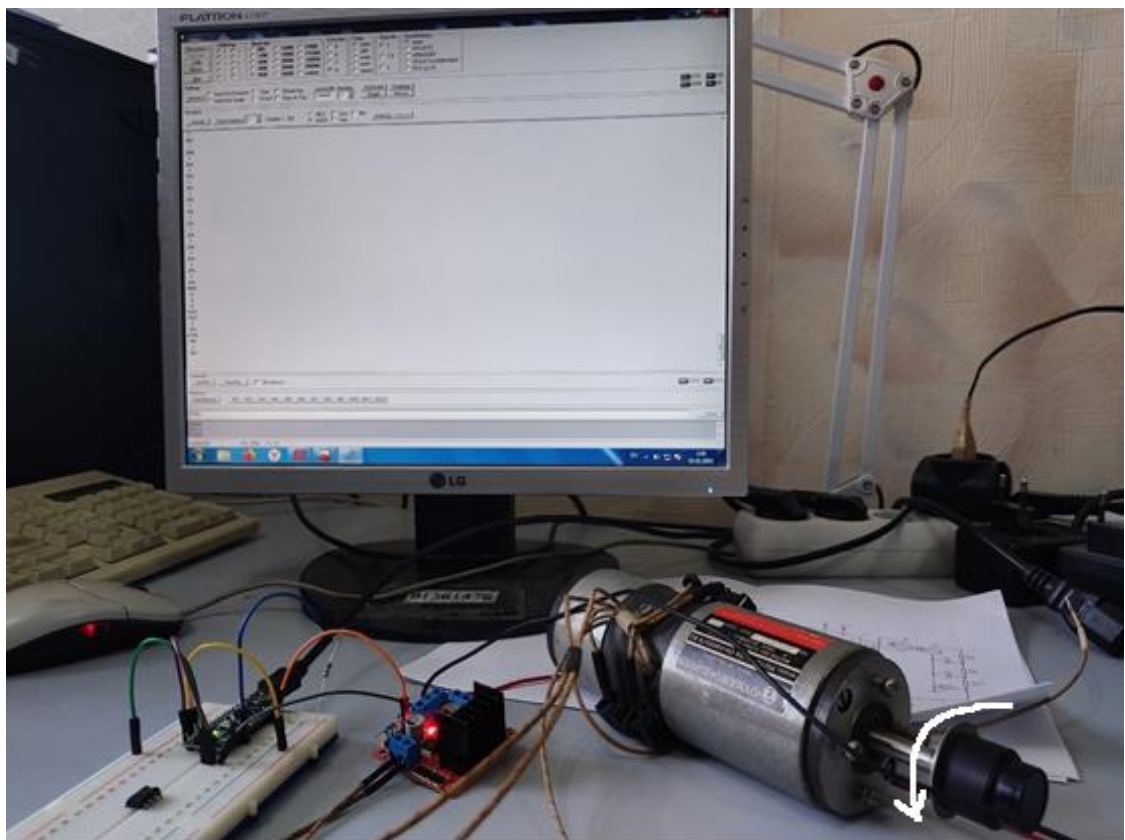


Рисунок А3 – Вращение двигателя при положительном напряжении



Для остановки двигателя в терминал введём четырёхразрядный десятичный код, соответствующий среднему значению диапазона задания – 0511:

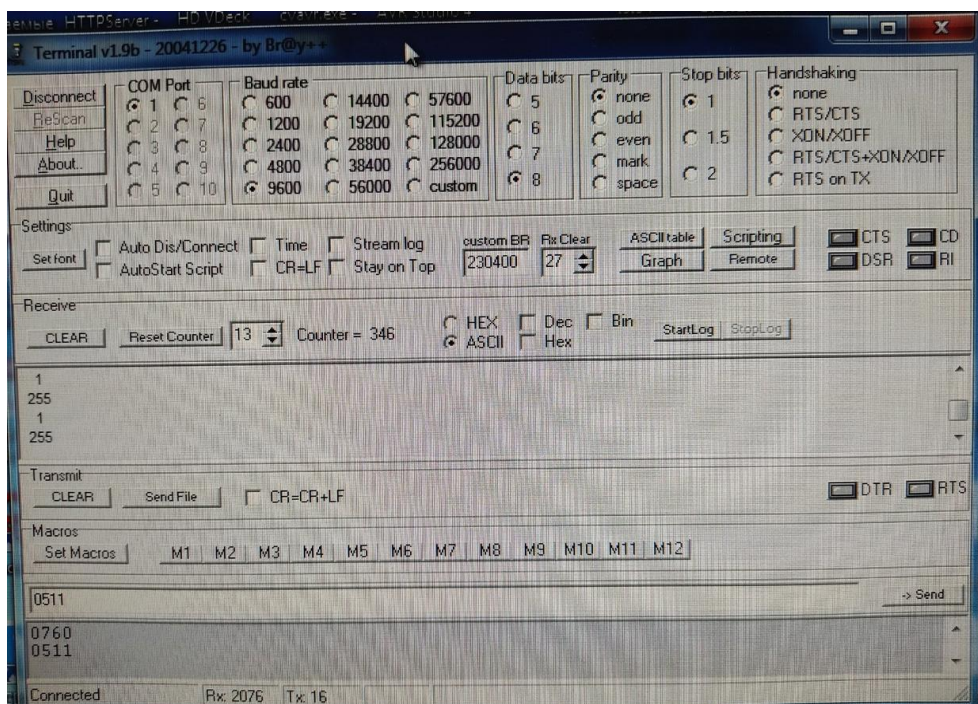


Рисунок А4 – Четырёхразрядный десятичный код, соответствующий остановке двигателя

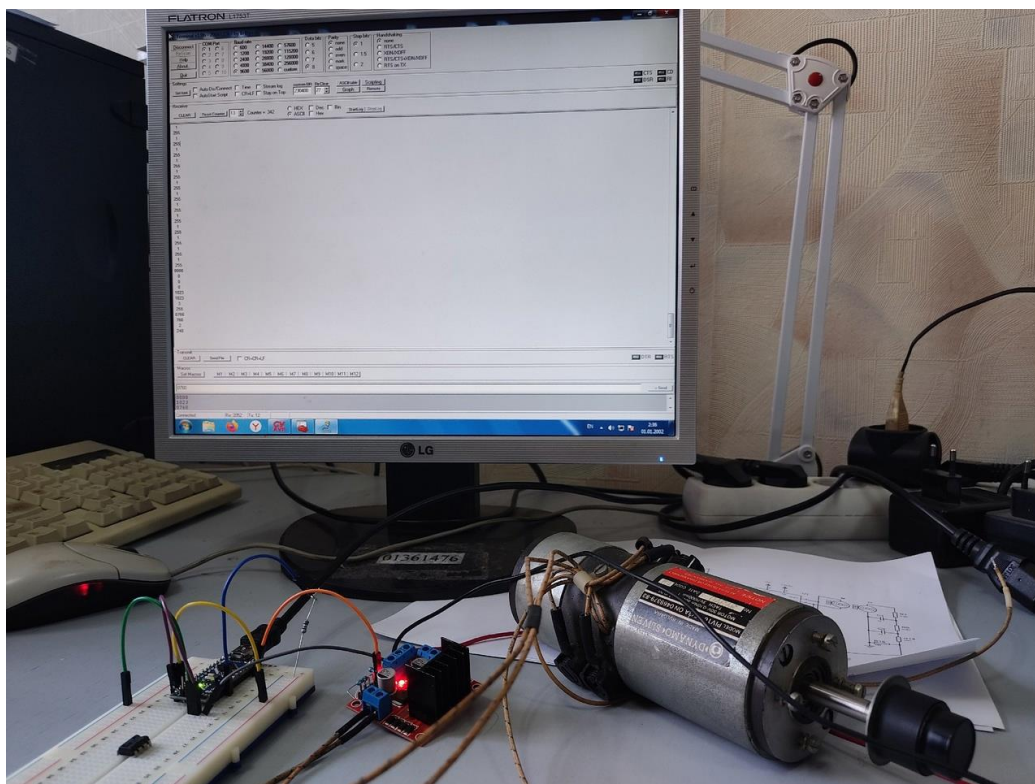


Рисунок А5 – Двигатель остановлен

Зададим направление вращения двигателя, соответствующее отрицательному напряжению. Для этого в терминал необходимо ввести четырёхразрядный десятичный код 0000, которым задаётся максимально возможная отрицательная амплитуда напряжения. Введём значение в терминал:

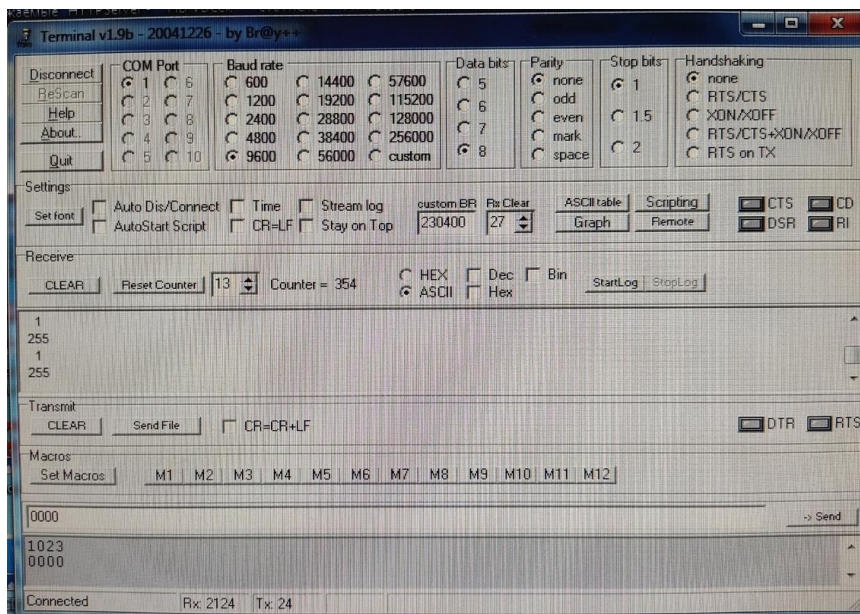


Рисунок А6 – Четырёхразрядный десятичный код, соответствующий вращению двигателя при отрицательном напряжении

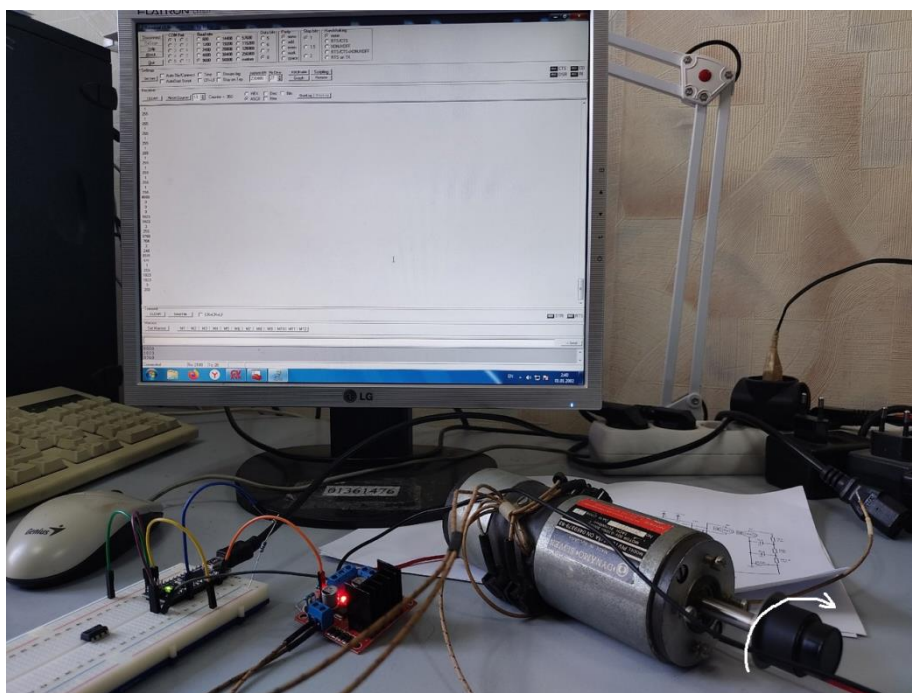


Рисунок А7 – Вращение двигателя при отрицательном напряжении

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

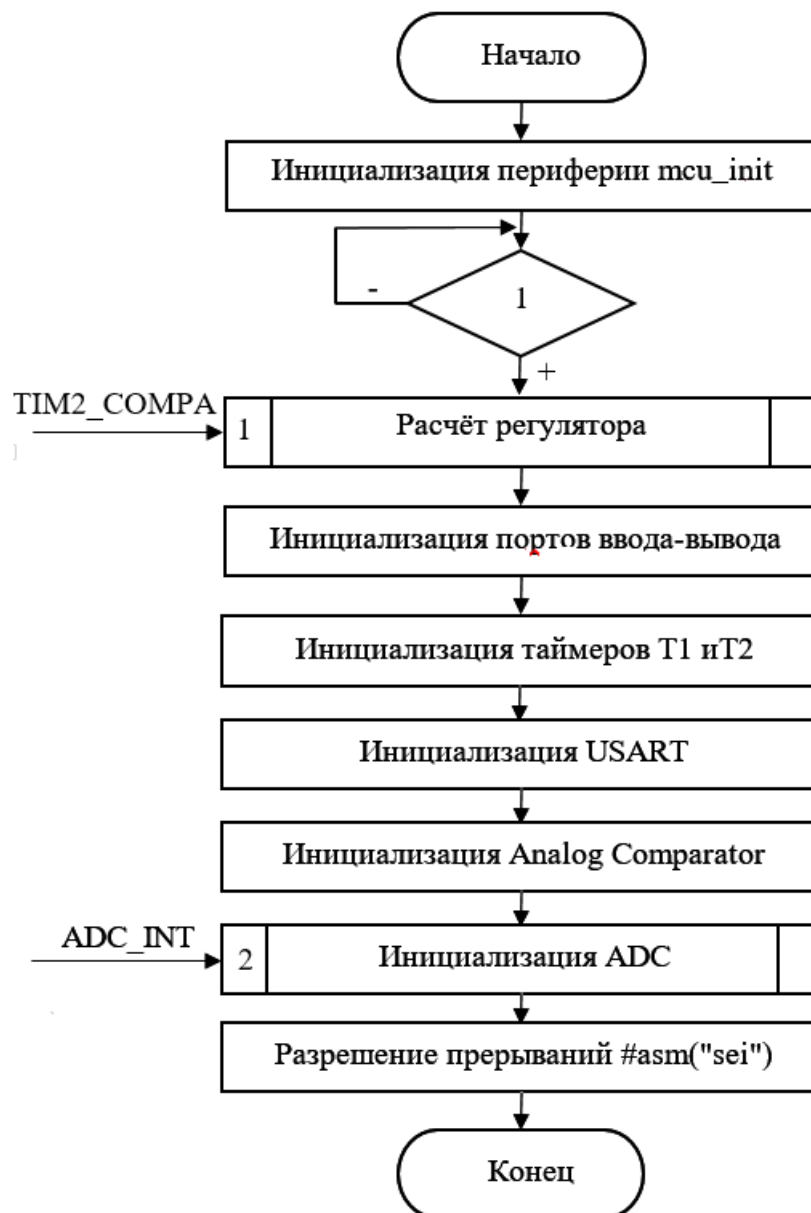
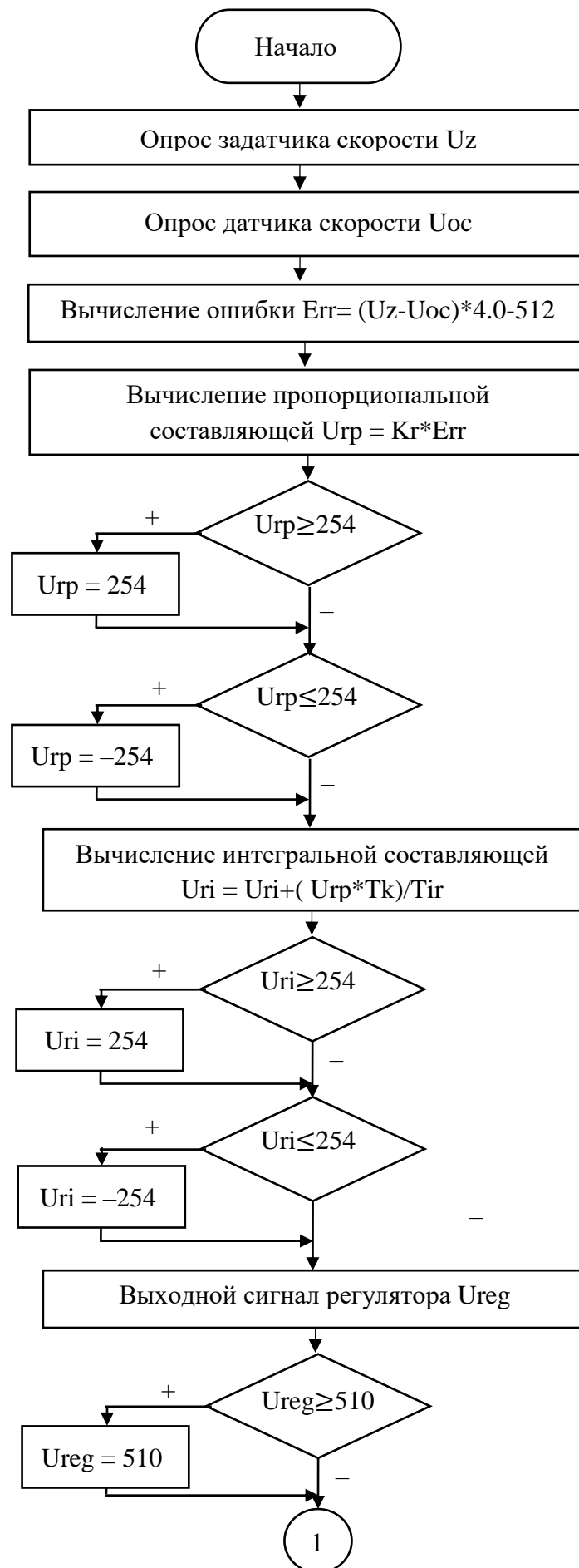


Рисунок Б1 – Алгоритм работы основной программы





Рисунок Б2 – Алгоритм подпрограммы инициализации периферии msc\_init



Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБФЭУ.1.ИП.01000000

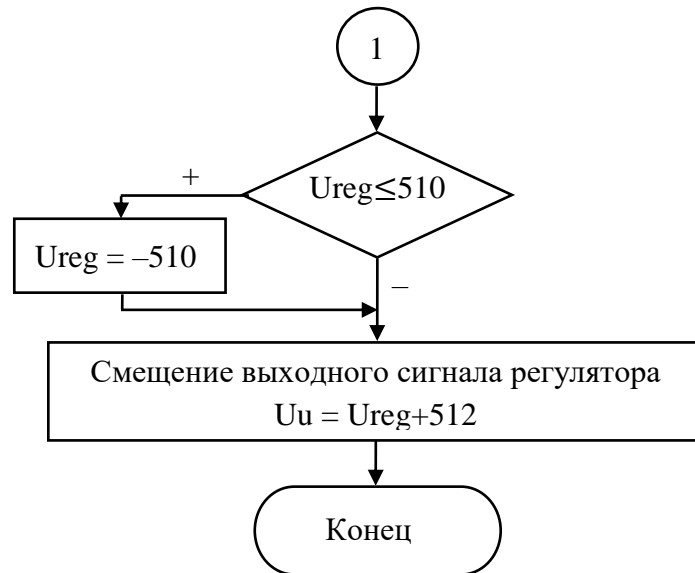


Рисунок Б3 – Алгоритм работы регулятора

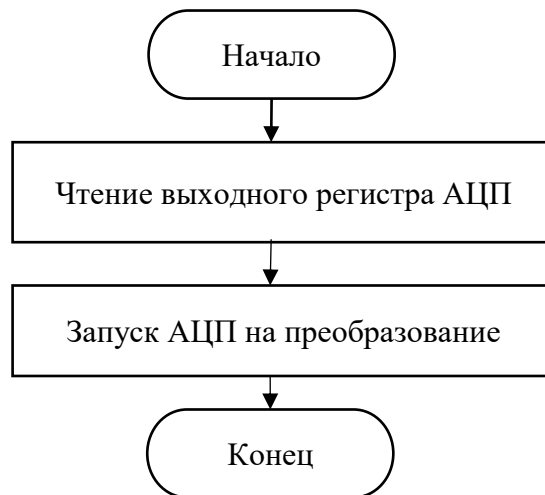


Рисунок Б4 – Алгоритм работы АЦП

## Листинг управляющей программы

```
#include <mega328p.h>
#include <delay.h>
#include <stdio.h>
#define FIRST_ADC_INPUT 0
#define LAST_ADC_INPUT 1
// Voltage Reference: AREF pin
#define ADC_VREF_TYPE ((0<<REFS1) | (0<<REFS0) | (1<<ADLAR))

// Declare your global variables here
unsigned char Uz, Uoc;
unsigned int Uu;
float Err, Urp, Uri, Ureg;
float Kr = 8.09; // коэф. PI-регулятора
float Ti = 0.076; // постоянная интегрирования PI-регулятора
float Tk = 0.01; // период квантования
unsigned char adc_data[LAST_ADC_INPUT-FIRST_ADC_INPUT+1];
unsigned char data[5];
void mcu_init(void);
interrupt [TIM2_COMPA] void timer2_compa_isr(void);
interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void);

void main(void)
{
    mcu_init();
    while (1)
    {
        // PI-controller;
        interrupt [TIM2_COMPA] void timer2_compa_isr(void)
        {
            Uz = adc_data[0];
            Uoc = adc_data[1];

            Err=(Uz-Uoc)*4.0-512; // вычисление ошибки управления и смещение на -512д.е.
// для вычисления
            // регулятора в диапазоне +-512д.е.
            Urp=Kr*Err; // вычисление пропорциональной составляющей (Kr - коэф.
регулятора)
            if(Urp>=254) Urp=254; // ограничение пропорциональной составляющей
            if(Urp<=-254) Urp=-254;
            Uri+=(Urp*Tk)/Ti; // вычисление интегральной составляющей (Ti -
постоянная интерг.;
            // Tk = 0,01с - период квантования)
            if(Uri>=254) Uri=254; // ограничение интегральной составляющей
            if(Uri<=-254) Uri=-254;
            Ureg=Urp+Uri; // выходной сигнал регулятора
            if(Ureg>=510) Ureg=510; // ограничение выходного сигнала регулятора
            if(Ureg<=-510) Ureg=-510;
            Uu=Ureg+512; // смещение выходного сигнала регулятора скорости на +512д.е.
```

										Лист
										28
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.						

СКБФЭУ.1.ИП.01000000

```

OCR1AH=(unsigned char)((Uu>>8)&0x03);
OCR1AL=(unsigned char)(Uu);
/*
  if(PIND.2 == 1)
  {
    printf("%d\n\r",adc_data[0]);
    printf("%d\n\r",adc_data[1]);
  } */
}

interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void)
{
  static unsigned char input_index=0;
  // Read the 8 most significant bits
  // of the AD conversion result
  adc_data[input_index]=ADCH;
  // Select next ADC input
  if (++input_index > (LAST_ADC_INPUT-FIRST_ADC_INPUT))
    input_index=0;
  ADMUX=(FIRST_ADC_INPUT | ADC_VREF_TYPE)+input_index;
  // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
  delay_us(10);
  // Start the AD conversion
  ADCSRA|=(1<<ADSC);
}

void mcu_init(void){
  // Crystal Oscillator division factor: 1
  #pragma optsize-
  CLKPR=(1<<CLKPCE);
  CLKPR=(0<<CLKPCE)|(0<<CLKPS3)|(0<<CLKPS2)|(0<<CLKPS1)|(0<<CLKPS0);
  #ifdef _OPTIMIZE_SIZE_
  #pragma optsize+
  #endif

  // Input/Output Ports initialization
  // Port B initialization
  // Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=Out Bit0=In
  DDRB=(0<<DDB7) | (0<<DDB6) | (0<<DDB5) | (0<<DDB4) | (0<<DDB3) |
(0<<DDB2) | (1<<DDB1) | (0<<DDB0);
  // State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=0 Bit0=T
  PORTB=(0<<PORTB7) | (0<<PORTB6) | (0<<PORTB5) | (0<<PORTB4) |
(0<<PORTB3) | (0<<PORTB2) | (0<<PORTB1) | (0<<PORTB0);

  // Port C initialization
  // Function: Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
  DDRC=(0<<DDC6) | (0<<DDC5) | (0<<DDC4) | (0<<DDC3) | (0<<DDC2) |
(0<<DDC1) | (0<<DDC0);
  // State: Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
  PORTC=(0<<PORTC6) | (0<<PORTC5) | (0<<PORTC4) | (0<<PORTC3) |
(0<<PORTC2) | (0<<PORTC1) | (0<<PORTC0);

```

						<i>Лист</i>
						29
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>	<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	

```

// Port D initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRD=(0<<DDD7) | (0<<DDD6) | (0<<DDD5) | (0<<DDD4) | (0<<DDD3) |
(0<<DDD2) | (0<<DDD1) | (0<<DDD0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
PORTD=(0<<PORTD7) | (0<<PORTD6) | (0<<PORTD5) | (0<<PORTD4) |
(0<<PORTD3) | (0<<PORTD2) | (0<<PORTD1) | (0<<PORTD0);

```

```

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 2000,000 kHz
// Mode: Fast PWM top=0x03FF
// OC1A output: Non-Inverted PWM
// OC1B output: Disconnected
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer Period: 0,512 ms
// Output Pulse(s):
// OC1A Period: 0,512 ms Width: 0 us
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=(1<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (0<<COM1B1) | (0<<COM1B0) |
(1<<WGM11) | (1<<WGM10);
TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (0<<WGM13) | (1<<WGM12) | (0<<CS12) |
(1<<CS11) | (0<<CS10);
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

```

```

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 15,625 kHz
// Mode: CTC top=OCR2A
// OC2A output: Disconnected
// OC2B output: Disconnected
// Timer Period: 10,048 ms
ASSR=(0<<EXCLK) | (0<<AS2);
TCCR2A=(0<<COM2A1) | (0<<COM2A0) | (0<<COM2B1) | (0<<COM2B0) |
(1<<WGM21) | (0<<WGM20);
TCCR2B=(0<<WGM22) | (1<<CS22) | (1<<CS21) | (1<<CS20);
TCNT2=0x00;
OCR2A=0x9C;
OCR2B=0x00;

```

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		30

```

// Timer/Counter 0 Interrupt(s) initialization
TIMSK0=(0<<OCIE0B) | (0<<OCIE0A) | (0<<TOIE0);
// Timer/Counter 1 Interrupt(s) initialization
TIMSK1=(0<<ICIE1) | (0<<OCIE1B) | (0<<OCIE1A) | (0<<TOIE1);
// Timer/Counter 2 Interrupt(s) initialization
TIMSK2=(0<<OCIE2B) | (1<<OCIE2A) | (0<<TOIE2);

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// Interrupt on any change on pins PCINT0-7: Off
// Interrupt on any change on pins PCINT8-14: Off
// Interrupt on any change on pins PCINT16-23: Off
EICRA=(0<<ISC11) | (0<<ISC10) | (0<<ISC01) | (0<<ISC00);
EIMSK=(0<<INT1) | (0<<INT0);
PCICR=(0<<PCIE2) | (0<<PCIE1) | (0<<PCIE0);

// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART0 Mode: Asynchronous
// USART Baud Rate: 9600
UCSRA=(0<<RXC0) | (0<<TXC0) | (0<<UDRE0) | (0<<FE0) | (0<<DOR0) |
(0<<UPE0) | (0<<U2X0) | (0<<MPCM0);
UCSR0B=(0<<RXCIE0) | (0<<TXCIE0) | (0<<UDRIE0) | (1<<RXEN0) |
(1<<TXEN0) | (0<<UCSZ02) | (0<<RXB80) | (0<<TXB80);
UCSR0C=(0<<UMSEL01) | (0<<UMSEL00) | (0<<UPM01) | (0<<UPM00) |
(0<<USBS0) | (1<<UCSZ01) | (1<<UCSZ00) | (0<<UCPOL0);
UBRR0H=0x00;
UBRR0L=0x67;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 250,000 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
// ADC Auto Trigger Source: ADC Stopped
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
// Digital input buffers on ADC0: On, ADC1: On, ADC2: Off, ADC3: Off
// ADC4: Off, ADC5: Off
DIDR0=(1<<ADC5D) | (1<<ADC4D) | (1<<ADC3D) | (1<<ADC2D) | (0<<ADC1D) |
(0<<ADC0D);
ADMUX=FIRST_ADC_INPUT | ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=(1<<ADEN) | (1<<ADSC) | (0<<ADATE) | (0<<ADIF) | (1<<ADIE) |
(1<<ADPS2) | (1<<ADPS1) | (0<<ADPS0);
ADCSRB=(0<<ADTS2) | (0<<ADTS1) | (0<<ADTS0);

// Global enable interrupts
#asm("sei")
}

```

						<i>Лист</i>
						31
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>	<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

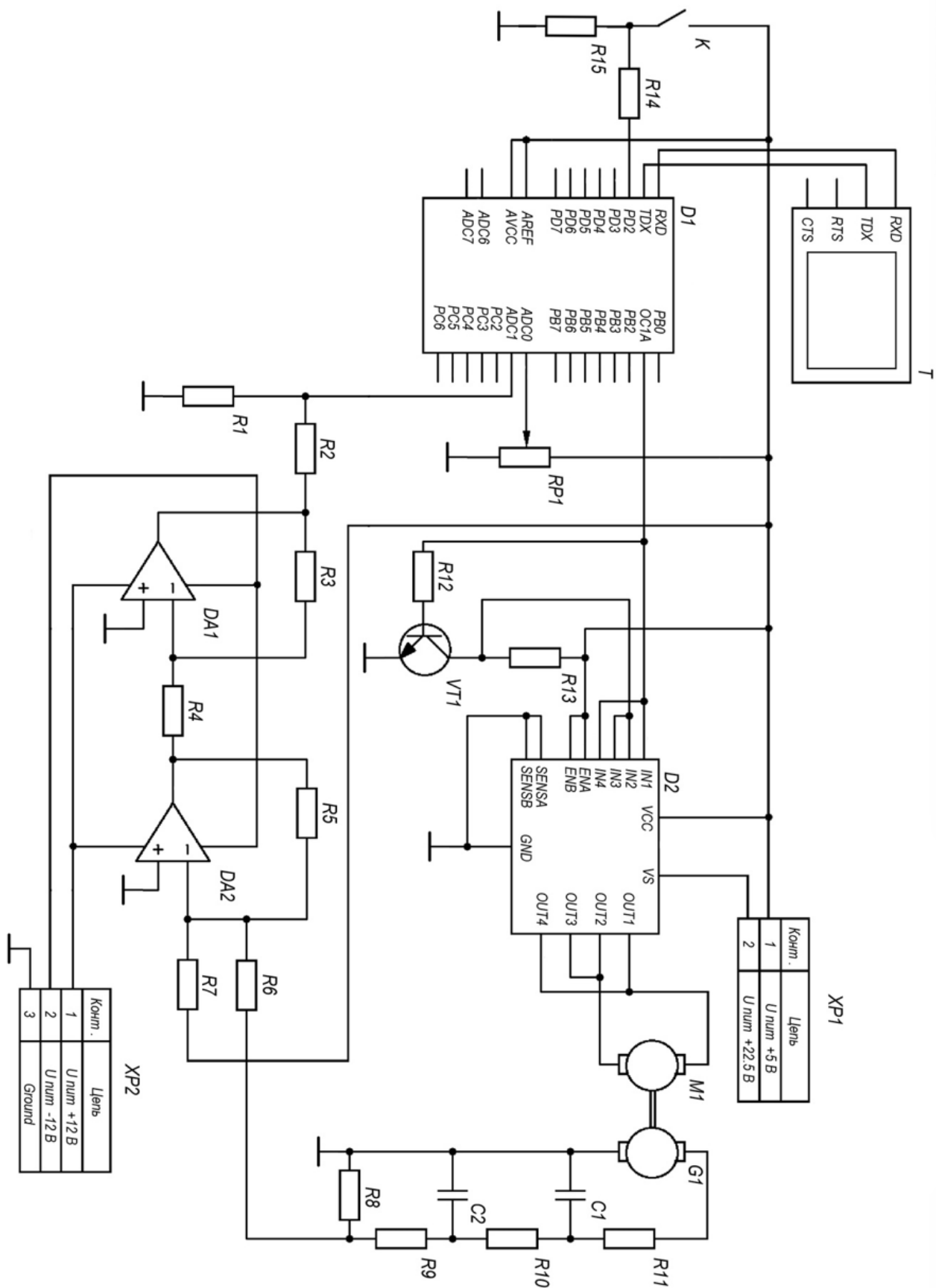


Рисунок В1 – Принципиальная схема устройства




Поз. обознач.	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Микросхема</u>		
D1	АТМЕГА328Р	1	
D2	L298	1	
DA1, DA2	LM358	2	
	<u>Резисторы</u>		
R1, R2, R8, R9, R13	10 кОм	5	
R15	5.1 кОм	1	
R3 – R7, R12, R14	1 кОм	7	
R10, R11	0,8 кОм	2	
	<u>Конденсаторы</u>		
C1, C2	1 мкФ	2	
	<u>Транзисторы</u>		
VT1	2N222	1	
	<u>Резистор переменный</u>		
RP1	10 кОм	1	
	<u>Машины, связанные механически</u>		
M1	ДПТ	1	
G1	Тахогенератор	1	
	<u>Ключи</u>		
K	SW-SPST	1	
	<u>Терминал</u>		
T		1	

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

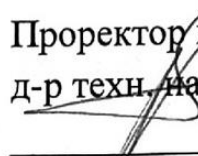
СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНиПКРС


  
(подпись) Е.М. Димитриади  
« 25 » 12 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,  
д-р техн. наук, профессор

  
(подпись) А.В. Космынин  
« 25 » 12 2023 г.

Декан ФЭУ

  
(подпись) А.С. Гудим  
« 25 » 12 2023 г.

АКТ

о приемке в эксплуатацию проекта  
«Микроконтроллерная система управления скоростью  
электродвигателя постоянного тока»

г. Комсомольск-на-Амуре

« 25 » 12. 2023 2023 г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

- С.И. Сухоруков – руководитель СКБ,
- А.С. Гудим – декан ФЭУ

со стороны исполнителя

- В.А. Егоров – руководителя проекта,
- Ф.В. Грищенко – 1ЭЛб-1,
- А.М. Поточеский – 1ЭЛб-1,

составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект «Микроконтроллерная система управления скоростью электродвигателя постоянного тока», в составе:

Оборудование:

- 1 Плата устройства.
- 2 Сетевой питающий адаптер.

Программное обеспечение, в том числе:

- 1 Рабочие программы управления изделием.

Эксплуатационная документация:



- 1 Паспорт изделия

Руководитель проекта

 25.12.2023  
(подпись, дата)

В.А. Егоров

Исполнители проекта

 25.12.2023  
(подпись, дата)  
 25.12.2023  
(подпись, дата)

Ф.В. Грищенко

А.М. Поточеский