

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра

«Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроника и робототехника

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Многоосевой манипулятор с микроконтроллерным управлением

Обучающийся

П. А. Ткачев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, А. В. Прядилов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

О.А. Головач

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

## Аннотация

Объем 54 с., 49 рис., 4 табл., 29 источников  
ПЛК, лабораторный стенд, микроконтроллер, манипулятор,  
автоматизированный склад.

Объектом исследования является лабораторный стенд «многоосевой манипулятор с микроконтроллерным управлением».

Цель работы: разработка лабораторного стенда (многоосевого манипулятора с микроконтроллерным управлением).

Задачи работы:

- Изучение и наладка ранее созданных стенда из конструктора Фишер Техник и блока соединения с программируемым логическим контроллером (ПЛК)

- Разработка и практическая отладка управляющей программы

- Проведение экспериментальных исследований

- Демонстрация рабочего стенда на днях открытых дверей ТГУ

Данные задачи решены в 4 главах работы.

Степень внедрения: изготовлен стенд, состоящий из автоматизированного склада, соединительного блока и ПЛК написана программа для ПЛК, произведена отладка работы стенда.

Разработанный стенд предназначен для:

- демонстраций на днях открытых дверей и аналогичных мероприятиях

- использовании в качестве лабораторного стенда по дисциплинам «Программируемые контроллеры» и «Робототехника» на кафедре «Промышленная электроника» ТГУ.

## **Abstract**

The title of the bachelor's thesis is «Multi-axis manipulator with microcontroller control ».

The bachelor's thesis consists of an introduction, 4 parts, a conclusion, 49 picture, 4 tables, list of references including 7 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is laboratory stand «multi-axis manipulator with microcontroller control».

The aim of the bachelor's thesis is to development of a laboratory stand (multi-axis manipulator with microcontroller control).

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions. We then analyze the literature concerning our problem.

We give a review of possible solutions and choose the most suitable ones, develop an electrical circuit diagram, carry out theoretical calculations and select elements.

The key issue of the bachelor's thesis is the writing a program for a PLC and practical debugging of the stand

In conclusion we'd like to stress that electrical schematic diagram has been developed and a stand has been manufactured and a program for the PLC was written. The operation of the program for the PLC.

This work is of interest to students and teachers of the Department of Industrial Electronics.

The field of application of the developed system is higher education institutions and a system of automated warehouses

## Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса .....	6
1.1 Формулирование актуальности, цели и задач работы.....	6
1.2 Состояние вопроса.....	6
2 Схемотехническая часть.....	16
2.1. Структурная схема.....	16
2.1 Разработка электрической принципиальной схемы .....	16
3. Программная часть .....	23
4. Экспериментальная часть.....	47
Заключение .....	50
Список используемой литературы .....	51

## Введение

При обучении в Тольяттинском государственном университете на кафедре Промышленная электроника большое внимание уделяется практическим навыкам студентов. В дисциплине «Программируемые контроллеры» изучается программируемый логический контроллер (ПЛК) Simens simatic S7-1200. Для освоения этого контроллера уже создан простой лабораторный стенд, позволяющий освоить простейшие операции по программированию. Для улучшения практических навыков необходимо производить программирование более сложных систем. В идеале – это программировать реальные промышленные объекты, однако их стоимость слишком высока, поэтому применяются лабораторные стенды, имитирующие имитирующих какие-либо реальные промышленные объекты. Одним из способов создания таких стендов является использование специализированных конструкторов, например, конструктора Фишер Техник. Этот конструктор обладает собственным контроллером (не применяющимся в промышленности) и имеет напряжение питания 9В. Управление двигателями осуществляется за счет встроенных усилительных схем. ПЛК Simens S7-1200 имеет напряжение питания 24 В, поэтому подключать его напрямую к стенду (без дополнительных элементов) не представляется возможным. Данная ВКР посвящена разработке лабораторного стенда, состоящего из макета склада (собранного из конструктора Фишер Техник), контроллера Simens S7-1200 и соединяющего их блока. В состав блока будут входить схемы преобразования уровней напряжения и реле для управления двигателями. Данная ВКР является продолжением работы, которая была произведена в ходе проектной деятельности в предыдущем семестре обучения.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Формулирование актуальности, цели и задач работы**

Актуальность работы обуславливается необходимостью разрабатываемого лабораторного стенда (многоосевого манипулятора с микроконтроллерным управлением) для обучения студентов в рамках дисциплины «Программируемые контроллеры» на кафедре Промышленная электроника ТГУ.

Целью работы является разработка лабораторного стенда «Многоосевой манипулятор с микроконтроллерным управлением».

Для достижения поставленной цели в ходе ВКР решаются задачи:

- Изучение и наладка ранее созданных стенда из конструктора Фишер Техник и блока соединения с ПЛК
- Разработка и практическая отладка управляющей программы
- Проведение экспериментальных исследований
- Демонстрация рабочего стенда на днях открытых дверей ТГУ

### **1.2 Состояние вопроса**

В ходе проектной деятельности перед бригадой была поставлена задача собрать и запрограммировать манипулятор работающей в трех проекциях (вертикаль, горизонталь и фронталь). Образец был собран на базе конструктора Fischertechnik Robotics 511933 ROBO TX, так как данный конструктор подразумевает электропривод, управляемый контроллером.

В настоящее время, большинство промышленных производств оборудованы программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) [1, 2, 8, 9, 10, 12, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 29]. Практика работы на ПЛК необходима начинающим инженерам [3, 11, 15, 18, 19]. Данный стенд, объединяющий набор Fishertechnik и ПЛК Siemens, в полной мере предоставляет практику программирования для данного контроллера.

Анализ опытного образца.

Общий вид собранной модели можно увидеть на рисунке 1.

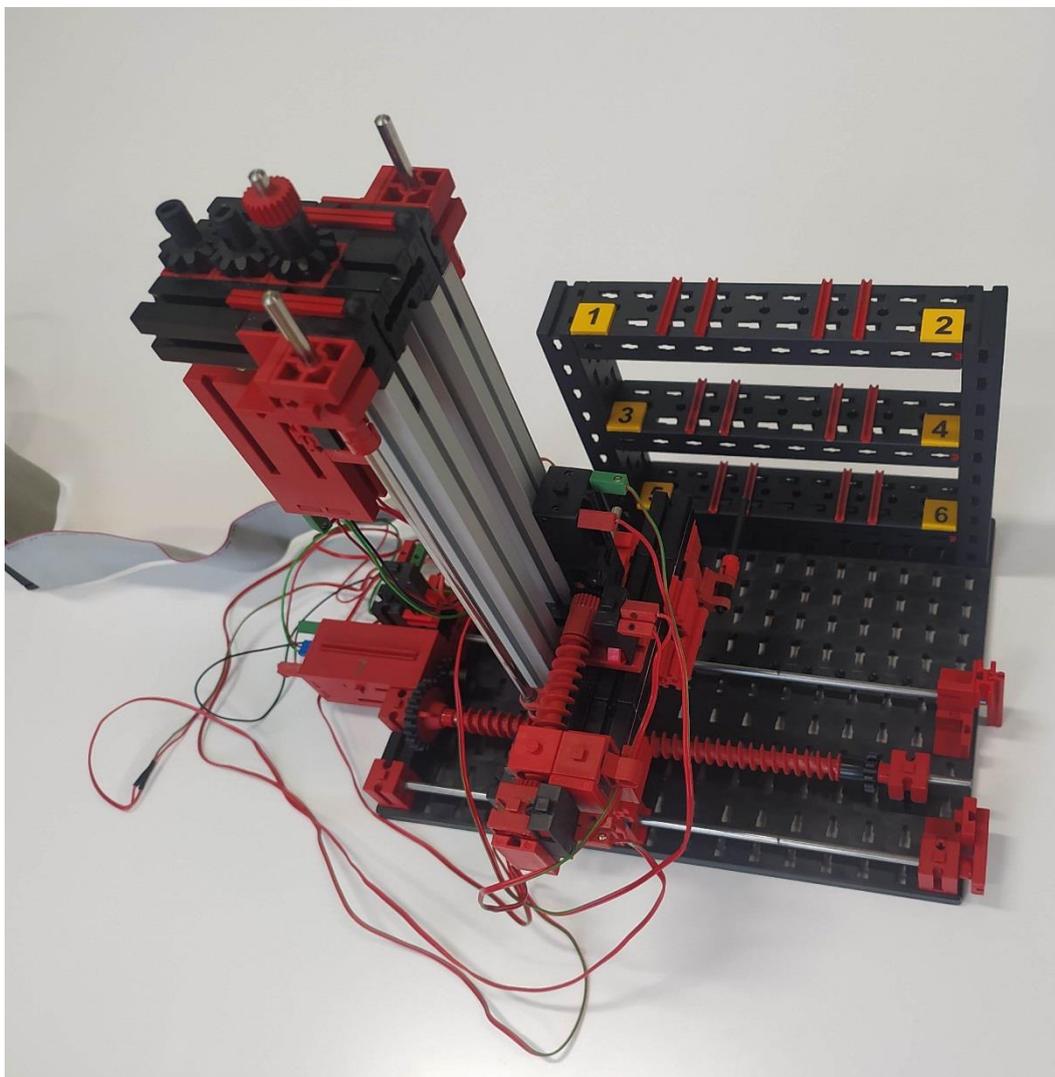


Рисунок 1 – Модель склада.

База для передвижений представляет собой три полки по два места, одно из шести которых является условным «окном приема» и из которого происходит перемещение в любое другое окно.

Структура стенда представлена на рисунке 2, на котором также показано соединение частей стенда.



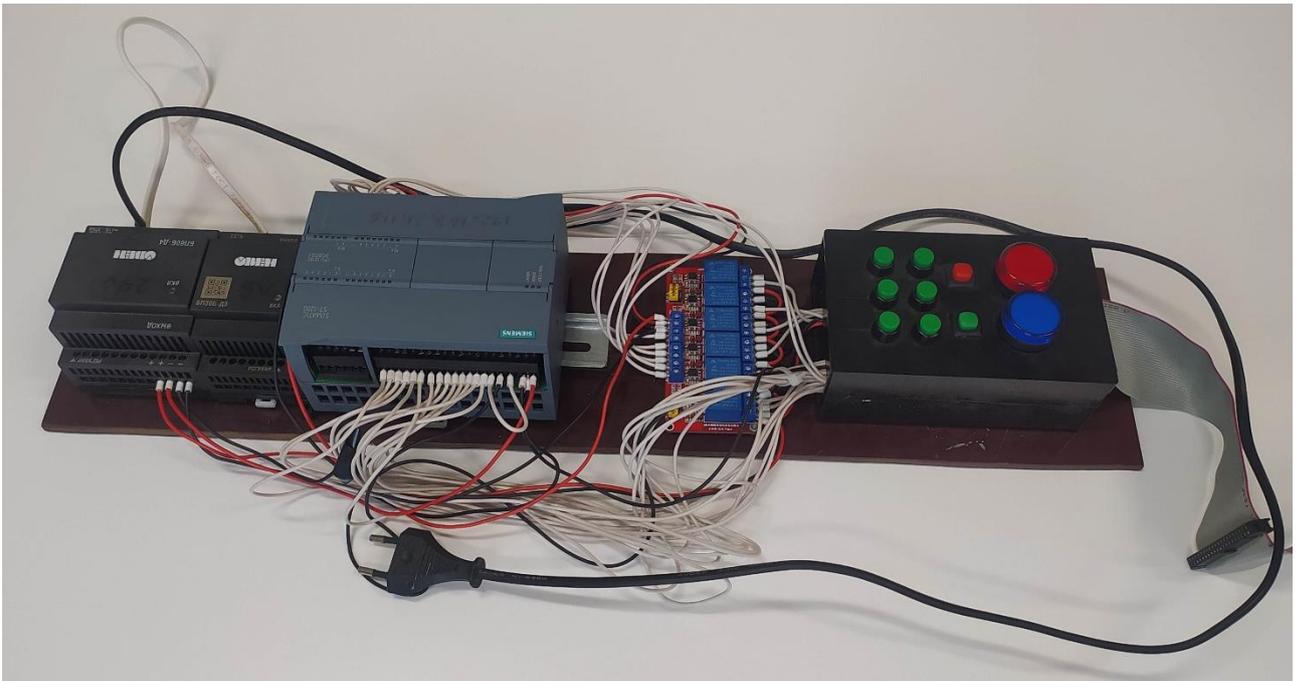


Рисунок 3 – ПЛК, соединительный блок и блок реле.

Программирование привода главная задача данной работы, так как корректная расстановка рабочего хода и рамок перемещения экспериментальных фишек. Данный вид контроля подразумевает наличие нажимных ключей относительно которых происходит задача крайней точки движения, а также энкодеров подсчитывающий эквивалент оборота мотора.

Контроллер.

Разработка программы началась с выбора контролера Siemens s7-1200. Для начала требовалось изучить язык и логику программирования данного контроллера [4, 5, 6, 7, 13, 20, 25].

Была выявлена особенность - для удобства работы выходы данного контроллера должны иметь некоторое базовое название (или если выразаться языком программирования «переменную») чтобы связывать подблоки между собой, а также возвращаться или наоборот пропускать некоторые функциональные выходы. Присутствует также отличие от среды программирования «ОВЕН» (рис 4) где среда программирования (если

сравнивать блочный вид программирования) достаточно линейна, не содержит в себе объединение в подблоки, которые работают поочередно или одновременно.

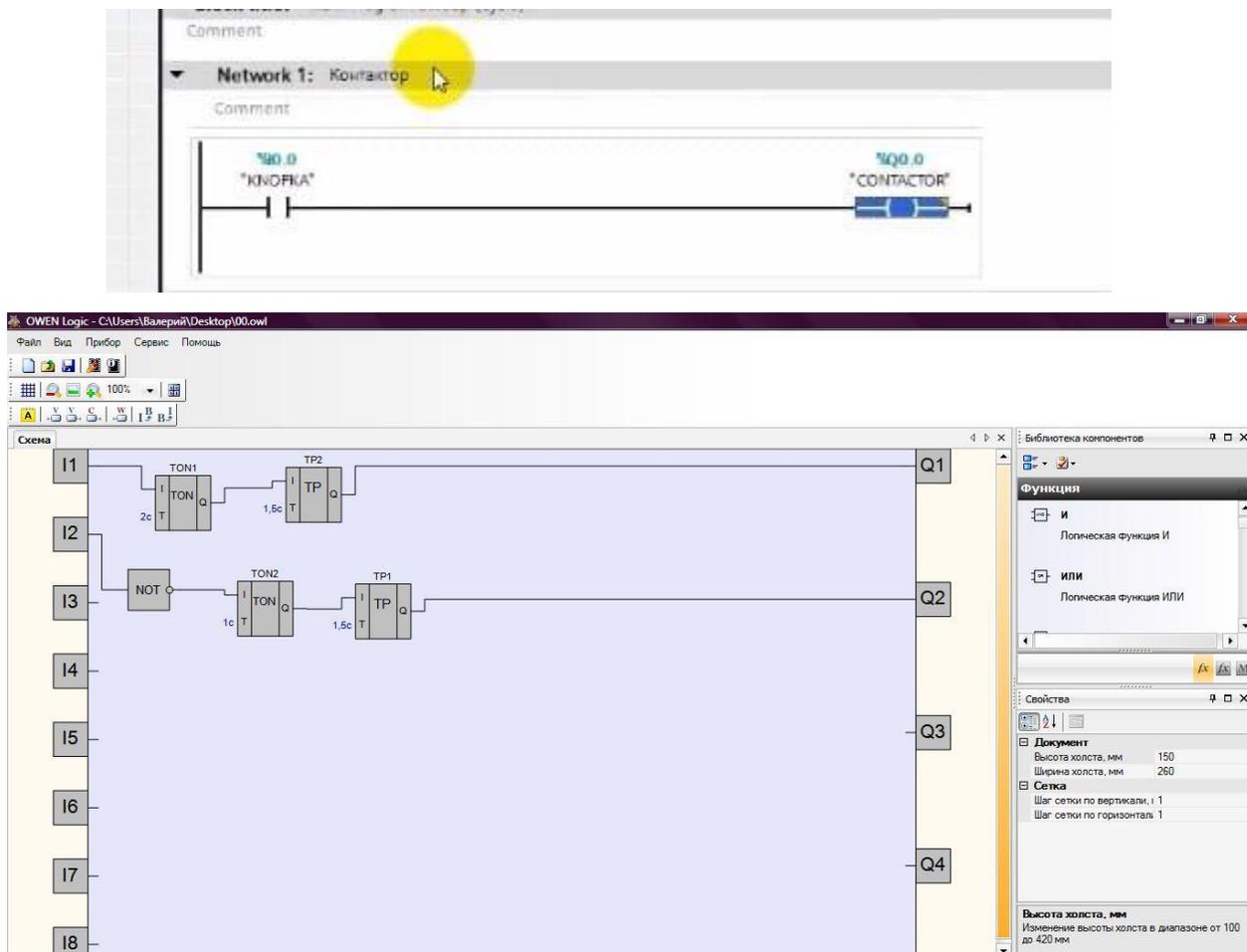
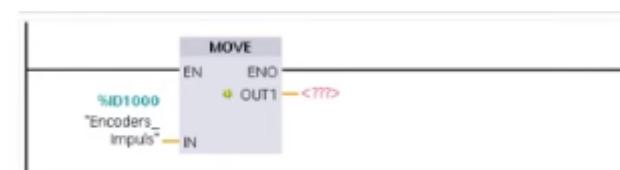


Рисунок 4 – Среда программирования Овен.

Итак, основные блоки внутреннего ряда для нашей модели будут использованы следующие:

- Энкодер (счетчик оборотов мотора) [1, 9]

В этом блоке одно из самых важных выделить ячейку памяти для отсчитывания данных.(в данном примере выбрана ячейка на %ID1000)



- Конвертор, умножитель и делитель (логические операции). Поступившие импульсы от энкодера обрабатываются как сигналы, домножаются на коэффициенты, чтобы можно было говорить о реальных долях оборотов и в дальнейшем их контроля.

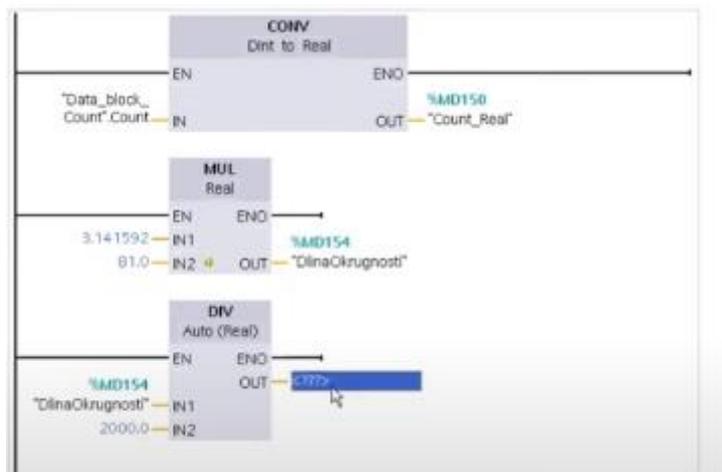


Рисунок 5 – Преобразование величин

Здесь на практике можно заметить удобство назначения внутренних переменных – как и возможность сразу от блока умножения перейти к блоку деления

- «Технологический блок» для обнуления данных после нажатия кнопки

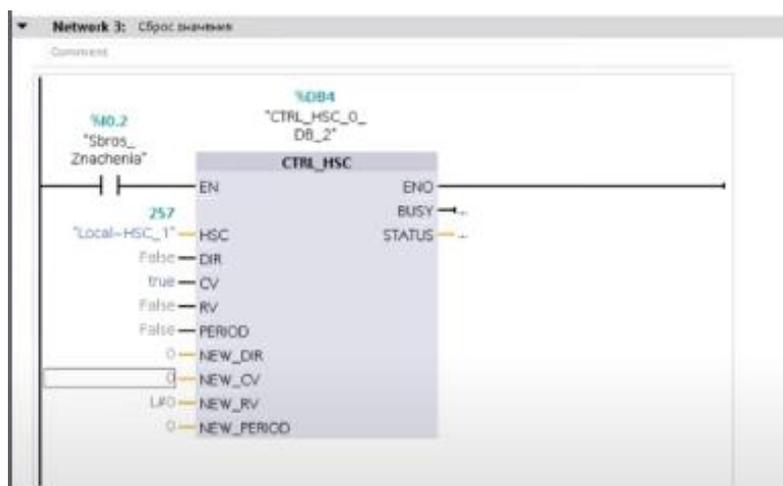


Рисунок 6 – Блок для обнуления данных

У данного блока имеется достаточно опциональных окон, например HSC является аппаратным идентификатором, а CV переменная которая проверяет условия нажатия кнопки и в случае удовлетворения данного условия обнуляет ячейку памяти счетчика.

Была составлена блок-схема программы для захвата и выдачи фишки, для удобства разбита на две программы которые при программировании будет соединена в одну.

Краткий анализ алгоритма.

Манипулятор должен быть способен перекладывать грузы «фишки» автоматизированно, под управлением человека выбирающего положение груза начальное и конечное, с пульта из 6 кнопок, соответствующих 6 положениям на полках.

Пользователь имеет 6 кнопок от 1 до 6 соответственно. Они обозначают место на условной полке.

Соответственно мы имеем две координаты «x» для столба с местами 1,3,5 и 2,4,6, три координаты «у» (1-2, 3-4, 5-6), и две координаты «z» (задвинут выдвинут).

Изначально программа запрашивает первоначальное место выбранной пользователем фишки. Пользователь нажимает нужную кнопку и каретка с рукой двигается на нужную координату, которая задана количеством оборотов моторчика для оси x и оси y, и подбирает фишку. После этого программа останавливается в ожидании выбора пользователем кнопки обозначающей следующее место. Программа выполняется по тому же алгоритму за исключением момента с загрузкой, теперь программа выполняет выгрузку, то есть опускается, оставляя фишку на месте.

Также в конечном коде программы будет добавлена, защита от несанкционированных действий таких как: задержка каретки или руки

посторонним предметом, множественные нажатия, разрыв сети или отход провода.

Предполагалось использование следующих переменных

Переменные

en – число поворотов энкодера;

x – ось икс;

y – ось игрек;

z- ось зет;

a – первая колонка полки

b – вторая колонка полки;

c – высота первой полки;

d - высота второй полки;

e - высота третьей полки;

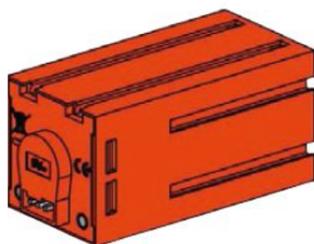
take – движение чтобы взять/отдать;

up – приподнять объект;

dw – опустить объект;

Передвижение осуществляется с помощью двух моторов с энкодерами (Рисунок 7) и мотора без энкодера (рисунок 8)

Мотор с энкодером 9 В (2014)



3570.00 руб.

Артикул: 153422  
Вес: 0.105 кг  
Страна производителя: Германия  
Оригинальное название: Encodermotor 9V neu

Кол-во:

 В корзину

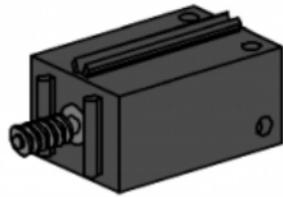
Мотор-редуктор со встроенным энкодером.

Характеристики:

- Тип электродвигателя: коллекторный двигатель постоянного тока
- Тип возбуждения: от постоянных магнитов
- Напряжение питания: 9 В
- Скорость вращения: 105 об/мин
- Номинальный ток: 0,386 А
- Номинальный момент: 10,9 Н\*см
- Передаточное число редуктора: 21,1:1
- Энкодер: импульсный - 63,3 имп/об
- Тип выхода энкодера: открытый коллектор NPN

Рисунок 7 – Мотор с энкодером

## Мотор XS 9 В



9V

**870.00 руб.**

Артикул: 137096  
Вес: 0.0016 кг  
Страна производителя: Германия  
Оригинальное название: MOTOR XS KOMPL. MONT.

Кол-во:

 **В корзину**

Миниатюрный мотор. Напряжение питания 9 В.

### Характеристики:

- Напряжение питания: 9 В
- Скорость вращения: 5995 об/мин
- Номинальный ток: 0,265 А
- Номинальный момент: 0,15 Н\*см

Рисунок 8 – Мотор без энкодера

Коммутация напряжения на них осуществляется с помощью двух реле (рисунок 9).

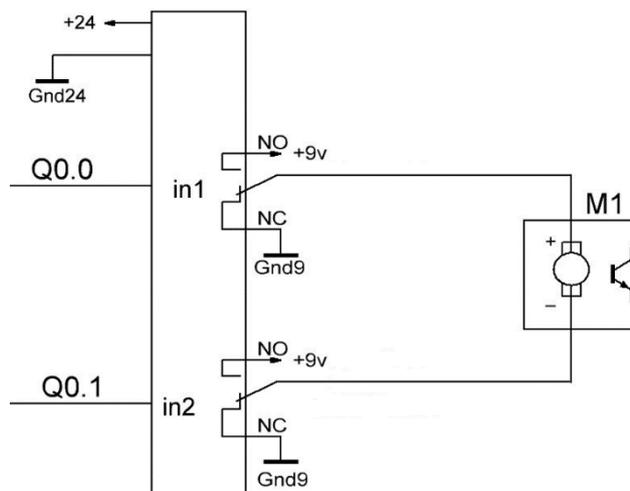


Рисунок 9 - Коммутация напряжения на мотор.

Для питания конструктора используется блок питания ОВЕН БП60Б-Д4-9 (рисунок 10).



Артикул: 00-00031290

Категория:	Блоки питания и устройства коммутации
Выходное напряжение:	9 В
Количество каналов:	1
Выходная мощность:	60 Вт
Входное напряжение:	90...264 В
Вид монтажа:	на DIN-рейку
Вид напряжения:	от 220 В AC

Блок питания БП60 предназначен для питания стабилизированным напряжением постоянного тока различных широкого спектра радиоэлектронных устройств (релейной автоматики, контроллеров, датчиков и т.п.).

[Подробнее описание](#)

6 480 руб. под заказ

Заказать + 1 - штук

[Добавить в корзину](#)

[К сравнению](#) [Экспресс-заказ](#)

[Информация О ДОСТАВКЕ](#)

- По Москве
- В регионы

[Информация ОБ ОПЛАТЕ](#)

- Подробнее

Рисунок 10 – Блок питания ОВЕН БП60Б-Д4-9

## Заключение

Практика программирования ЦПУ Siemens благотворно сказывается на общетехническом образовании, а сбор модели и сопряжение ее с контроллером на практике дают убедиться в многогранности данной специальности, а также обширном спектре применения центральных процессорных устройств.

В первой главе проведено формулирование актуальности, цели и задач проекта. Сделан обзор исходного состояния вопроса.

## 2 Схемотехническая часть

### 2.1. Структурная схема

Структурная схема изображена на рисунке 11.

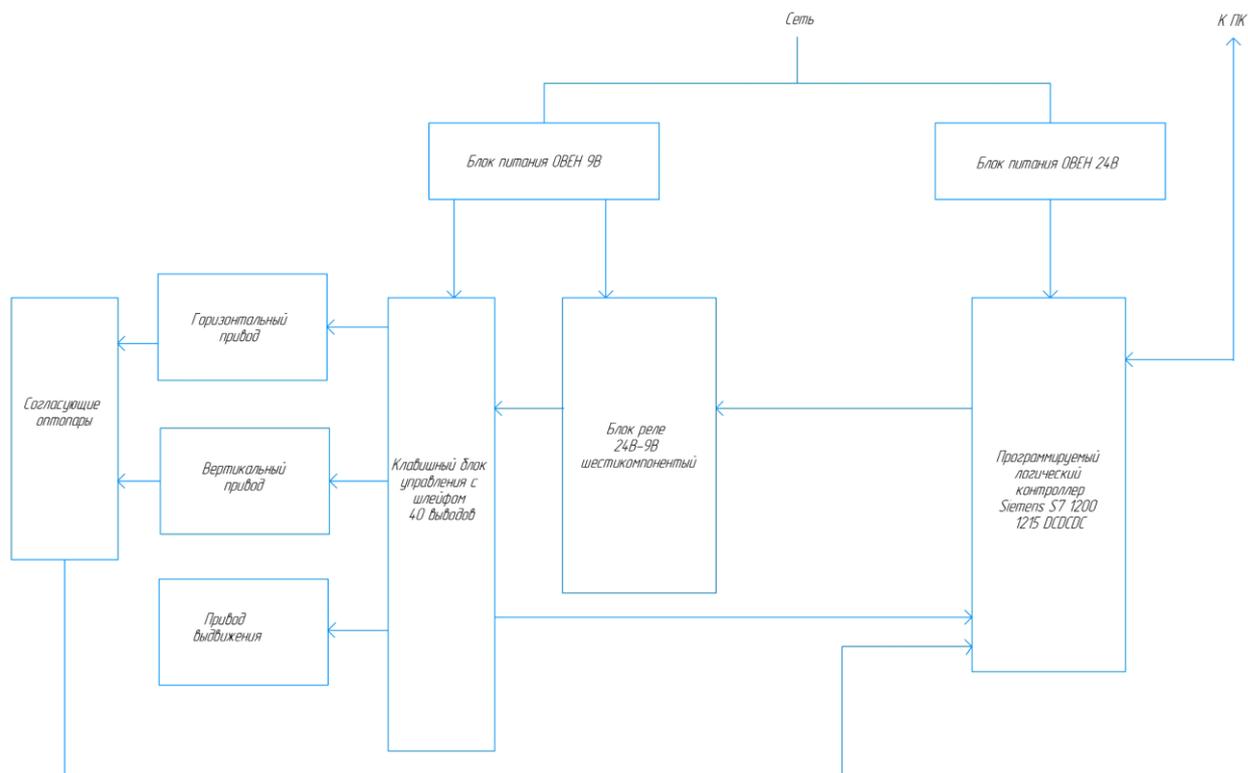


Рисунок 11 - Структурная схема манипулятора.

Согласно этой схеме ПЛК сименс получает управляющие сигналы и в соответствии с программой управляет тремя приводами (моторами).

### 2.1 Разработка электрической принципиальной схемы

Первая версия электрической принципиальной схемы была разработана в ходе проектной деятельности. В дальнейшем эта схема была проанализирована. Были найдены ряд расхождений схемы с реальным состоянием. Было обнаружено, что функциональное назначение некоторых выводов в разьеме на стороне конструктора Фишер Техника не совпадали с

выводами, имеющимися на блоке согласования с ПЛК Сименс. Поэтому были произведены:

- корректировка электрической принципиальной схемы. Полученная схема приведена на рисунке 12;
- корректировка таблицы 1, описывающей функциональные назначения выводов в разъемах;
- перепайка разъемов для обеспечения соответствия стороны ПЛК Сименс стороне конструктора Фишер Техник;
- корректировка модели склада (трехосевого манипулятора), собранного из конструктора Фишер Техник.

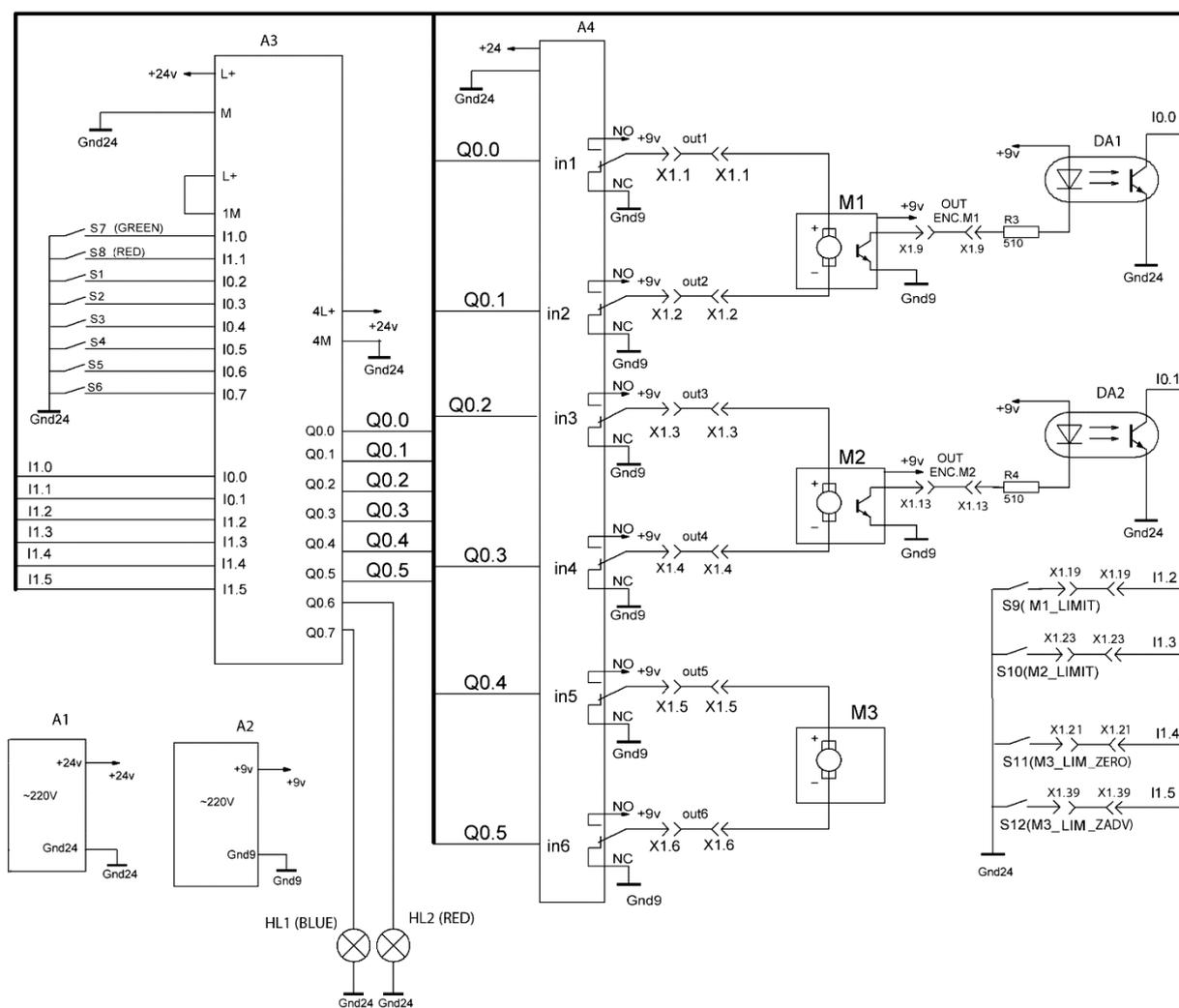


Рисунок 12 - Трех осевой манипулятор (модель склада). Схема электрическая принципиальная.

В схеме блоки А1 и А2 – это источники питания 24 и 9 В соответственно, предназначенные для питания ПЛК Сименс и моторов конструктора Фишер Техник. Эти блоки гальванически развязаны между собой. Поэтому в схеме присутствуют две разные «земли»: земля GND24 и GND9, являющихся землями для вышеуказанных блоков.

Концевые выключатели, расположенные на конструкторе Фишер Техник подключены непосредственно ко входам ПЛК Сименс и его земле. Они коммутируют напряжение уровня 24 В.

Гальваническая развязка между сигналами управления и питанием моторов осуществляется за счет блока реле А4 [18].

Гальваническая развязка сигналов с энкодеров осуществляется за счет оптопар DA1,2. Подключение оптопары происходит по следующей схеме (рисунок 13). Основное назначение этих опторпар – это преобразование уровня напряжений с 9В (напряжение энкодеров двигателей) в уровень 24 В, необходимый для входов ПЛК Сименс. Выбранная оптопара изображена на рисунке 14.

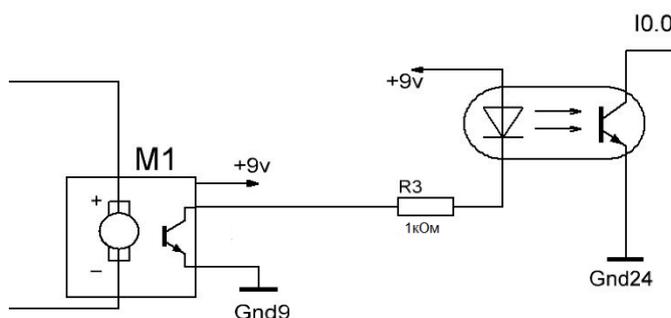
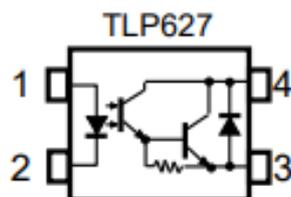


Рисунок 13 –Подключения оптопары



1: ANODE  
2: CATHODE  
3: EMITTER  
4: COLLECTOR

а) функциональное назначение выводов

**TOSHIBA**

TLP627, TLP627-2, TLP627-4

**Electrical Characteristics (Ta=25°C)**

Characteristics		Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
LED	Forward Voltage	$V_F$	$I_F = 10 \text{ mA}$	1.0	1.15	1.3	V
	Reverse Current	$I_R$	$V_R = 5 \text{ V}$	—	—	10	$\mu\text{A}$
	Capacitance	$C_T$	$V = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	—	30	—	pF
Detector	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = 0.1 \text{ mA}$	300	—	—	V
	Emitter-Collector Breakdown Voltage	$V_{(BR)ECO}$	$I_E = 0.1 \text{ mA}$	0.3	—	—	V
	Collector Dark Current	$I_{CEO}$	$V_{CE} = 200 \text{ V}$	—	10	200	nA
			$V_{CE} = 200 \text{ V}, T_a = 85 \text{ }^\circ\text{C}$	—	—	20	$\mu\text{A}$
Capacitance Collector to Emitter	$C_{CE}$	$V = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	—	10	—	pF	

б) электрические характеристики

**TOSHIBA**

TLP627, TLP627-2, TLP627-4

**Switching Characteristics (Ta=25°C)**

Characteristics	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Rise Time	$t_r$	$V_{CC} = 10 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$ $R_L = 100 \Omega$	—	40	—	$\mu\text{s}$
Fall Time	$t_f$		—	15	—	
Turn-on Time	$t_{on}$		—	50	—	
Turn-off Time	$t_{off}$		—	15	—	
Turn-on Time	$t_{ON}$	$R_L = 180 \Omega$ (Fig.1) $V_{CC} = 10 \text{ V}, I_F = 16 \text{ mA}$	—	5	—	
Storage Time	$t_s$		—	40	—	
Turn-off Time	$t_{OFF}$		—	80	—	

в) временные характеристики

Рисунок 14 - Оптопара tlp627-1

Кнопки S1-S8 являются 8 кнопками, которые находятся на отдельном сформированном блоке управления, включающим в себя также две лампочки, индицирующие о работе стенда для удобства пользователя и приближенности к производственным пультам управления.

Двигатели M1 и M2 содержат энкодеры, согласованные через оптопары. Концевые выключатели S9-S12 информируют систему о крайних положениях каждой из осей движения.

Выходы ПЛК подключены к релейной развязке на информационный вход, сигнал на котором переводит реле из положения нормально-замкнутого (NC) в нормально-открытое (NO). Когда на блок из 6 реле не подается сигнал на каждом из выходов блока реле находится заземление 9В. Направление вращения привода соответствует выбранной подаче сигнала на одно из реле так, чтобы второе реле, подключенная к моторчику, находилась в положении NC и подавала на свой выход землю 9В.

Сигнал с энкодера приходит на оптопару. В целях ограничения тока на внутреннем светодиоде оптопары, в схему подключения включены резисторы номиналом 510 Ом расчет для которых проводился с использованием документации элементов.

Сопряжение стенда Fishertechnik с управляющими блоками производится за счет 40 пинового шлейфа, функциональное назначение которого представлена ниже (рисунок 15).

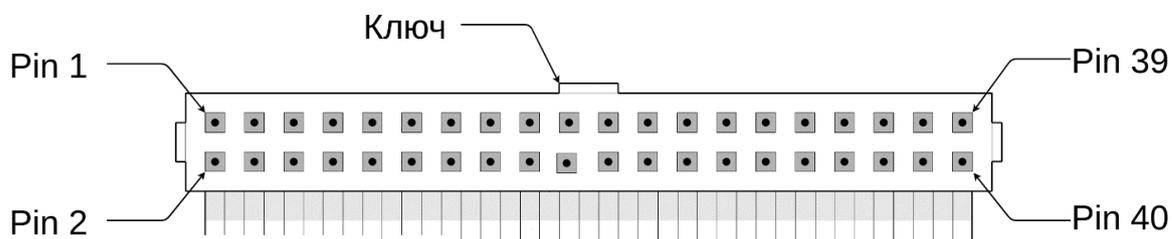


Рисунок 15 – Вставной сорока пиновый разъем  
(Коннектор 40 пин типа «папа»)

В таблице 1 приведено описание функциональных назначений выводов в разъеме, а в таблице 2 – их расшифровка.

Таблица 1 – Функциональное назначение выводов разъема 40 пин

Пин	Название в шлейфе	Подключение к Siemens	Пин	Название в шлейфе	Подключение к Siemens
2	-M1 (out2)	Q0.1	1	+M1 (out1)	Q0.0
4	-M2 (out4)	Q0.3	3	+M2 (out3)	Q0.2
6	-M3 (out6)	Q0.5	5	+M3 (out5)	Q0.4
8	GND9 ENC.M1		7	+9V ENC.M1	
10			9	OUT ENC.M1	I1.0
12	GND9 ENC.M2		11	+9V ENC.M2	
14			13	OUT ENC.M2	I1.1
16			15		
18			17		
20	GND24		19	M1_LIM	I1.2
22	GND24		21	M3_LIM_ZERO	I1.4
24			23	M2_LIMIT	I1.3
26			25		
28			27		
30			29		
32			31		
34			33		
36			35		
38			37		
40	GND24		39	M3_LIM_ZADV	I1.5

Таблица 2 – Расшифровка названий выводов в таблице 1.

Название тега	Назначение
+ M1 / - M1	Подключение мотора M1
+ M2 / - M2	Подключение мотора M2
+ M3 / - M3	Подключение мотора M3
+9V ENC.M1 / +9V ENC.M2	Питание +9В для энкодеров
GND9	Заземление 9В
OUT ENC.M1	Информационный вывод привода энкодера M1
OUT ENC.M2	Информационный вывод привода энкодера M2
GND24	Заземление 24В
M1_LIM, M3_LIM_ZERO, M3_LIM_ZADV, M2_LIMIT	Выводы концевых выключателей

Заключение.

Таким образом, во второй главе происходит разработка структурной и электрической принципиальной схем. Поясняется работа системы, приводятся функциональные назначения выводов в соединительном шлейфе.

### 3. Программная часть

Манипулятор должен быть способен приезжать на заданную позицию (по координатам  $x$  и  $y$ ), брать или класть на эту позицию груз.

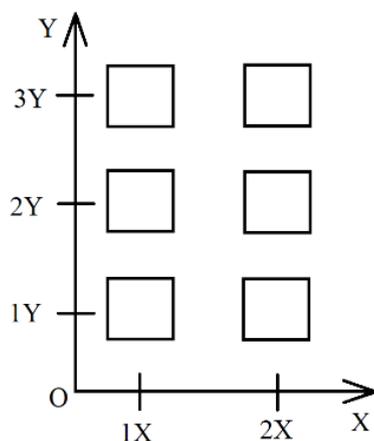


Рисунок 16 - Задаваемые позиции

Для реализации последовательности выполнения действий в программе использовали метод, согласно которому создается переменная (sost), говорящая о номере текущего состояния. В этом состоянии производятся некоторые действия (выполняется функция). А затем (при выполнении некоторых условий) происходит переход в следящее состояние. Таблица состояний и переходов приведена в таблице 3, а расшифровка обозначений функций – в таблице 4.

Таблица 3 - Таблица состояний и переходов

Номер состояния	Функция	Следующее состояние	Комментарий
0	-	-	Ожидание
1	M3 move zero	0	Выдвинуть манипулятор
2	M3 move plus	0	Задвинуть манипулятор
3	M3 move zero	4	Переход в нулевые положения
4	M1 zero	5	
5	M2 zero	0	
10	M3 move zero	11	Перейти в ячейку 1
11	M1 move 1	12	
12	M2 move 3	0	
20	M3 move zero	21	Перейти в ячейку 2
21	M1 move 2	22	
22	M2 move 3	0	
30	M3 move zero	31	Перейти в ячейку 3
31	M1 move 1	32	
32	M2 move 2	0	
40	M3 move zero	41	Перейти в ячейку 4
41	M1 move 2	42	
42	M2 move 2	0	
50	M3 move zero	31	Перейти в ячейку 5
51	M1 move 1	32	
52	M2 move 1	0	
60	M3 move zero	41	Перейти в ячейку 6
61	M1 move 2	42	
62	M2 move 1	0	
70	M3 move plus	71	Положить груз
71	M2 move DOWN	72	
72	M3 move zero	73	
73	M2 move UP	0	
75	M2 move DOWN	76	Забрать груз
76	M3 move plus	77	
77	M2 move UP	79	
78	M3 move zero	0	

Таблица 4 - Расшифровка обозначений функций

M3 move zero	Выдвинуть манипулятор
M3 move plus	Вдвинуть манипулятор
M1 zero	Выставить ось M1 в нулевое положение
M2 zero	Выставить ось M2 в нулевое положение
M1 move 1	Выставить ось M1 в положение 1 (левый столбец ячеек: ячейки 1, 3, 5)
M1 move 2	Выставить ось M2 в положение 2 (правый столбец ячеек: ячейки 2, 4, 6)
M2 move 2	Выставить ось M2 в положение 2 (средний уровень ячеек: ячейки 3,4)
M2 move 3	Выставить ось M2 в положение 3 (верхний уровень ячеек: ячейки 1,2)
M2 move UP	Выставить ось M2 в поднятое положение
M2 move DOWN	Выставить ось M2 в опущенное положение

Рассмотрим функционирование программы на конкретном примере.

Состояние 10 является начальным для перехода в ячейку 1. В этом состоянии происходит вызов функции M3 move zero (выдвигающей манипулятор в заднее крайнее положение, не препятствующее движению манипулятора). После завершения этой функции происходит переход в следующее состояние 11. В нем двигатель M1 перемещает манипулятор в левый столбец ячеек. Переходим в состояние 12 – двигатель M2 перемещает манипулятор на 3 уровень. На пересечении 3 уровня и 1го столбца находится ячейка 1. После состояния 12 система переходит в состояние 0 – ожидание нажатия кнопки.

Общий вид программы изображен на рисунке 17.

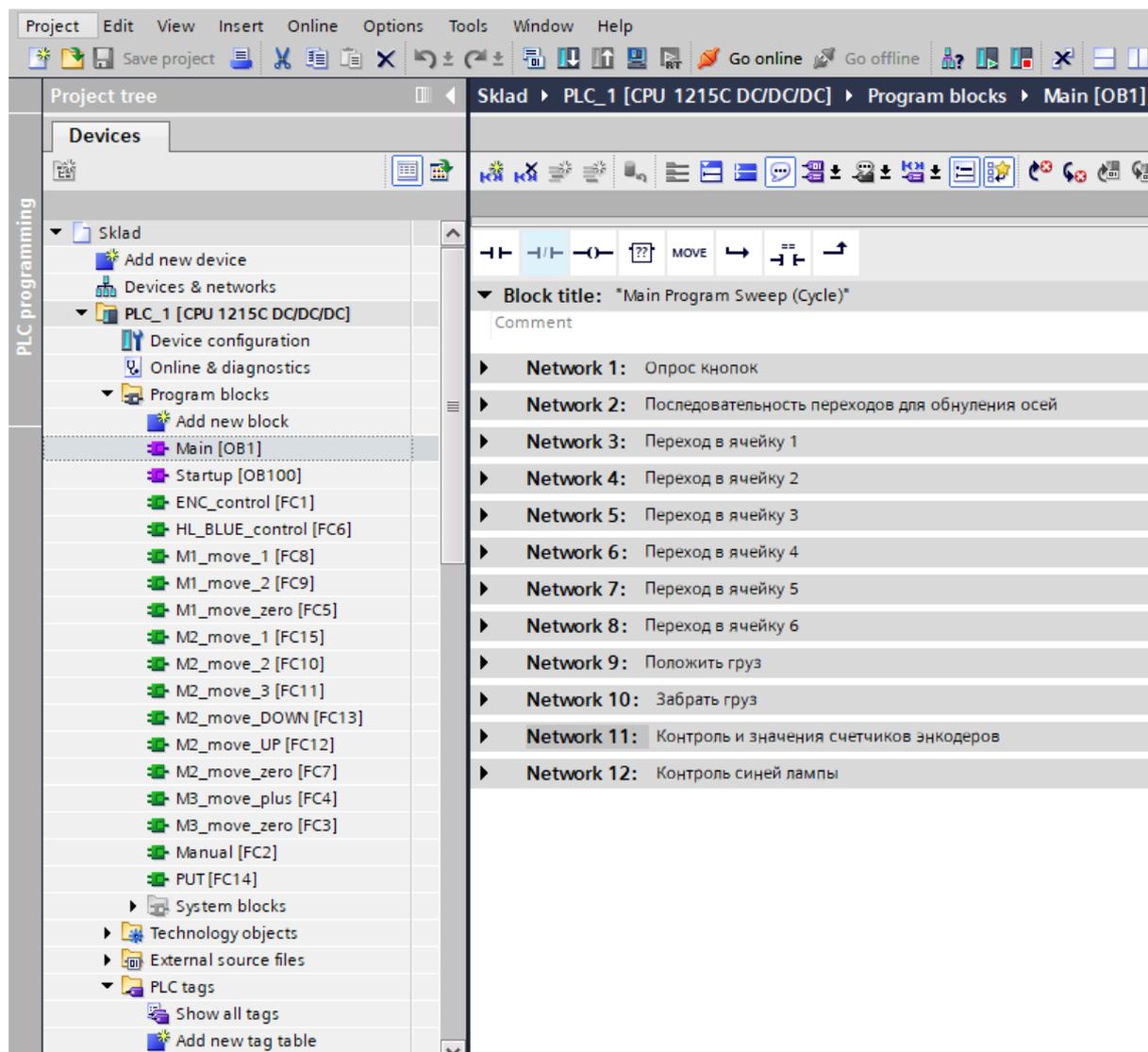


Рисунок 17 - Общий вид программы.

В программе присутствуют блоки Startup (выполняющийся однократно при включении контроллера) и основной блок Main (выполняющийся циклично).

Используемые переменные сведены в таблицу, представленную на рисунке 18.

## PLC\_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / PLC tags / Default tag table [60]

### PLC tags

PLC tags							
	Name	Data type	Address	Retain	Accessi-ble from HMI/OPC UA	Writable from HMI/OPC UA	Visible in S HMI engi-neering
	SB_GREEN	Bool	%I1.0	False	True	True	True
	SB_RED	Bool	%I1.1	False	True	True	True
	SB1	Bool	%I0.2	False	True	True	True
	SB2	Bool	%I0.3	False	True	True	True
	SB3	Bool	%I0.4	False	True	True	True
	SB4	Bool	%I0.5	False	True	True	True
	SB5	Bool	%I0.6	False	True	True	True
	SB6	Bool	%I0.7	False	True	True	True
	ENC_M1	Bool	%I0.0	False	True	True	True
	ENC_M2	Bool	%I0.1	False	True	True	True
	M1_LIM	Bool	%I1.2	False	True	True	True
	M2_LIM	Bool	%I1.3	False	True	True	True
	M3_LIM_zero	Bool	%I1.4	False	True	True	True
	M3_LIM_zadv	Bool	%I1.5	False	True	True	True
	M1_plus	Bool	%Q0.0	False	True	True	True
	M1_minus	Bool	%Q0.1	False	True	True	True
	M2_plus	Bool	%Q0.2	False	True	True	True
	M2_minus	Bool	%Q0.3	False	True	True	True
	M3_plus	Bool	%Q0.4	False	True	True	True
	M3_minus	Bool	%Q0.5	False	True	True	True
	HL_RED	Bool	%Q0.6	False	True	True	True
	HL_BLUE	Bool	%Q0.7	False	True	True	True
	DIR_M1	Int	%MW100	False	True	True	True
	M1_Count	DWord	%ID1000	False	True	True	True
	M2_Count	DWord	%ID1004	False	True	True	True
	DIR_M2	Int	%MW102	False	True	True	True
	Sost	Byte	%MB90	False	True	True	True
	Polojenie_M1	Byte	%MB91	False	True	True	True
	Polojenie_M2	Byte	%MB92	False	True	True	True
	Polojenie_M3	Byte	%MB93	False	True	True	True

Рисунок 18 - PLC Tags

Блок Startup.

В блоке Startup (рисунок 19) реализован поиск нулей – при включении контроллера все моторы едут в крайние (нулевые) положения – едут до

момента замыкания концевых выключателей. При этом счетчики обоих энкодеров обнуляются. Для этого в переменную состояния Sost записывается значение 3, приводящее к последовательности действий согласно вышеприведенной таблице.

## PLC\_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Program blocks

### Startup [OB100]

Startup Properties			
General			
Name	Startup	Number	100
Type	OB	Language	LAD
Numbering	Automatic		
Information			
Title	"Complete Restart"	Author	
Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID	
Name	Data type	Default value	Comment
▼ Input			
LostRetentive	Bool		True if retentive data are lost
LostRTC	Bool		True if date and time are lost
Temp			
Constant			

### Network 1: Обнуляем все оси

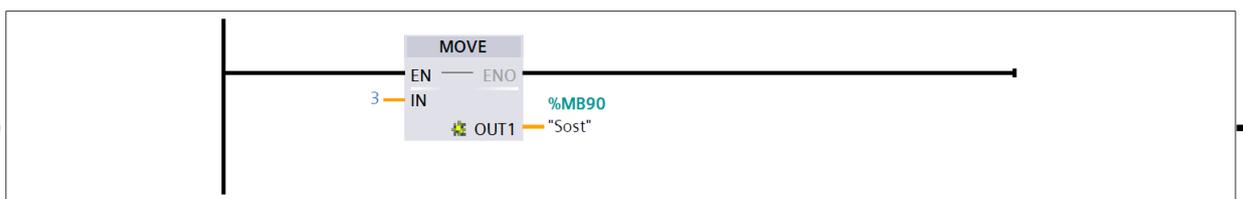


Рисунок 19 - Startup

Блок Main.

В блоке майн реализованы действия, перечисленные на общем виде программы (рисунки 20-31).

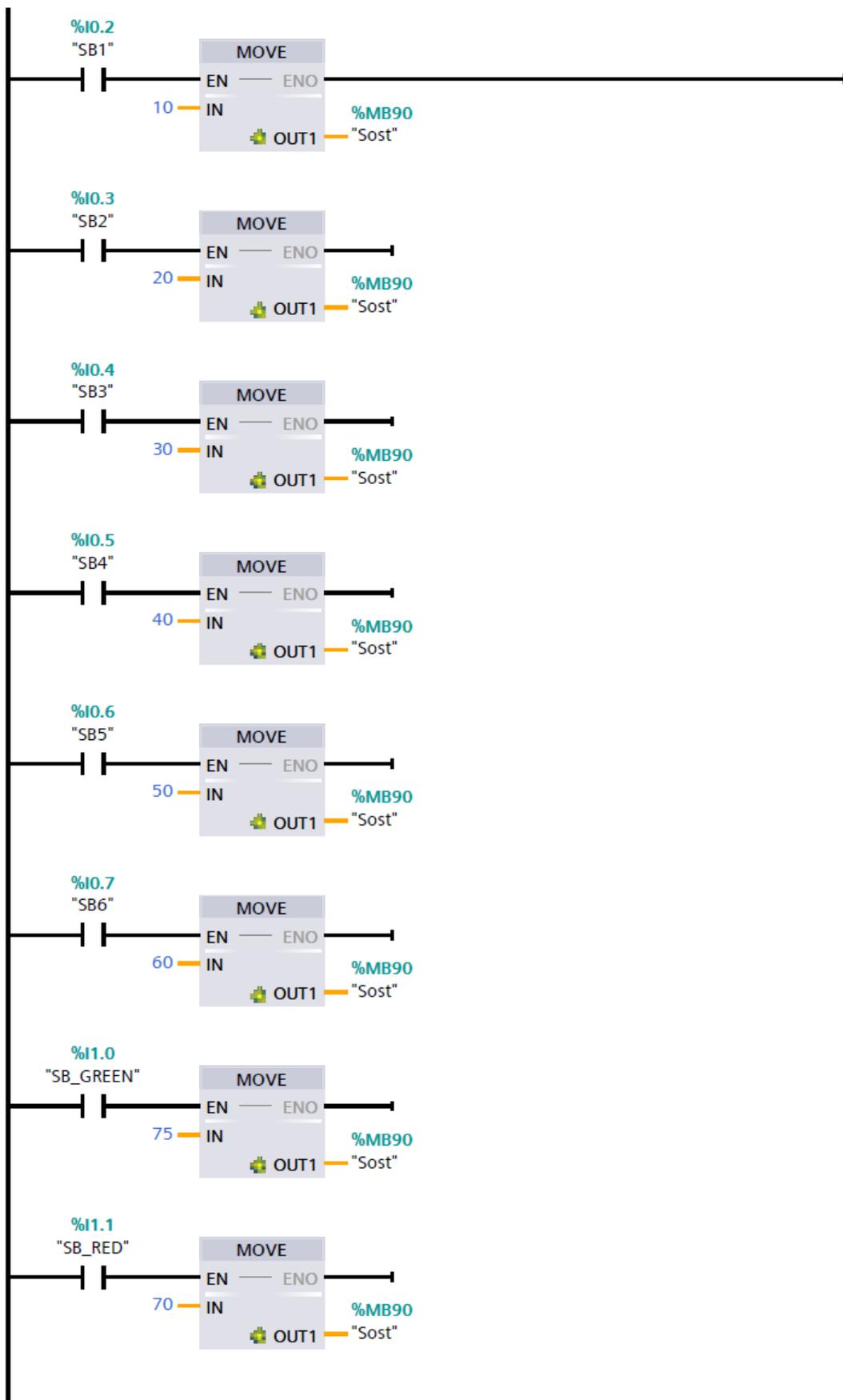


Рисунок 20 - Network 1: Опрос кнопок

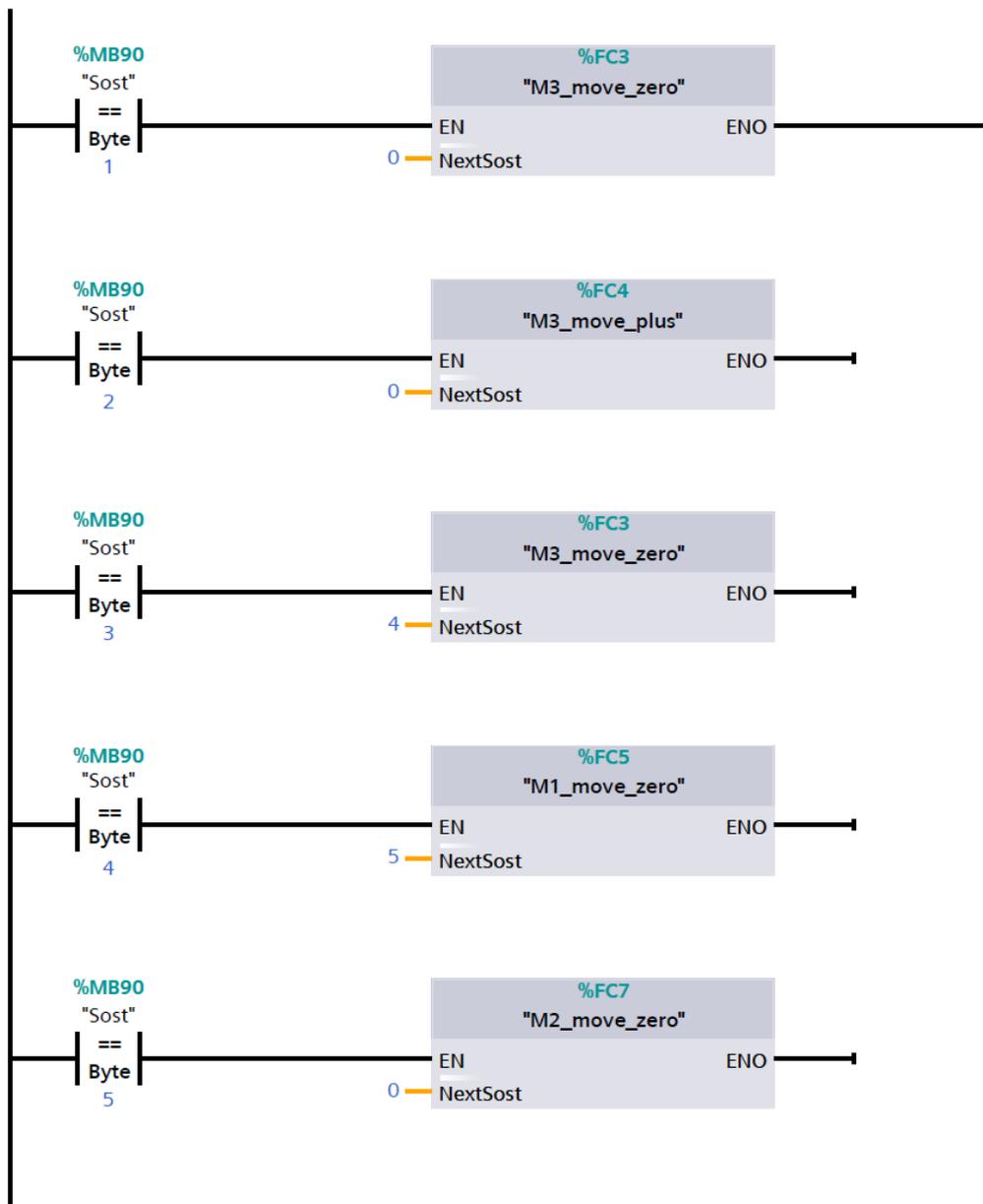


Рисунок 21 - Network 2: Перейти в нулевые положения

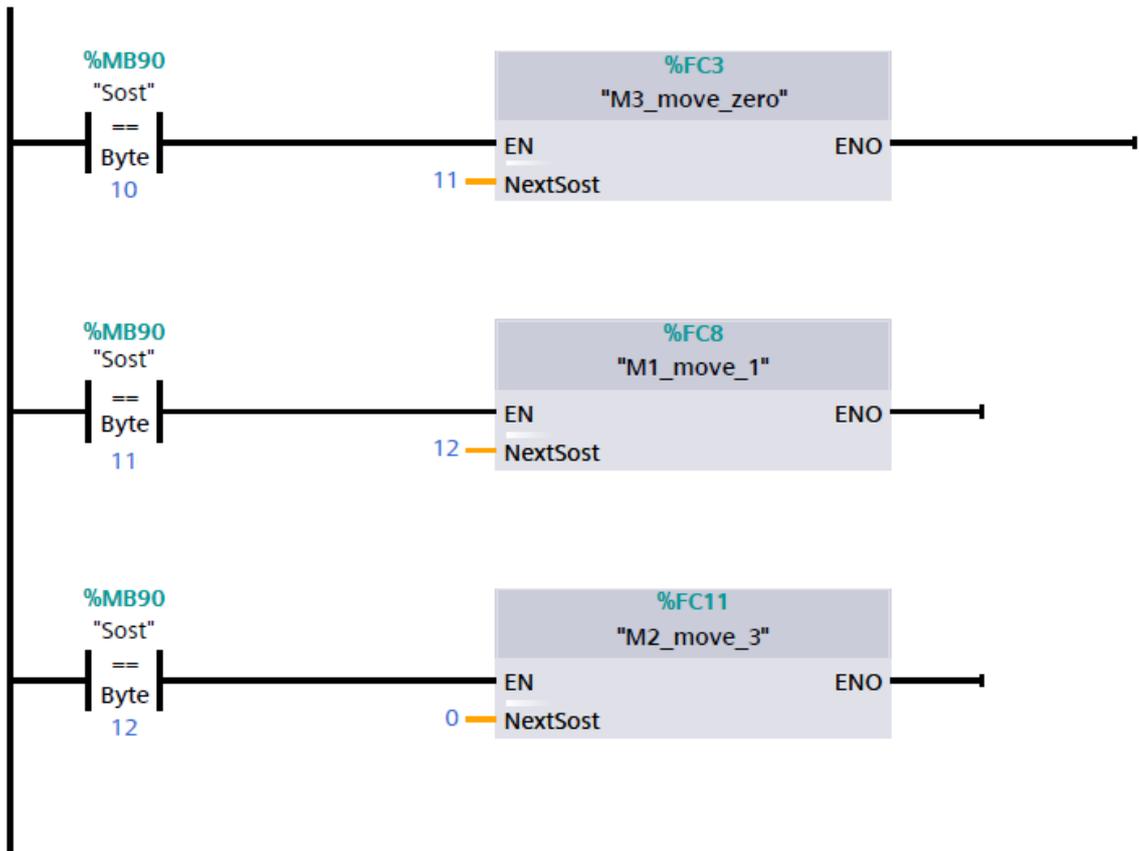


Рисунок 22 - Network 3: Переход в ячейку 1

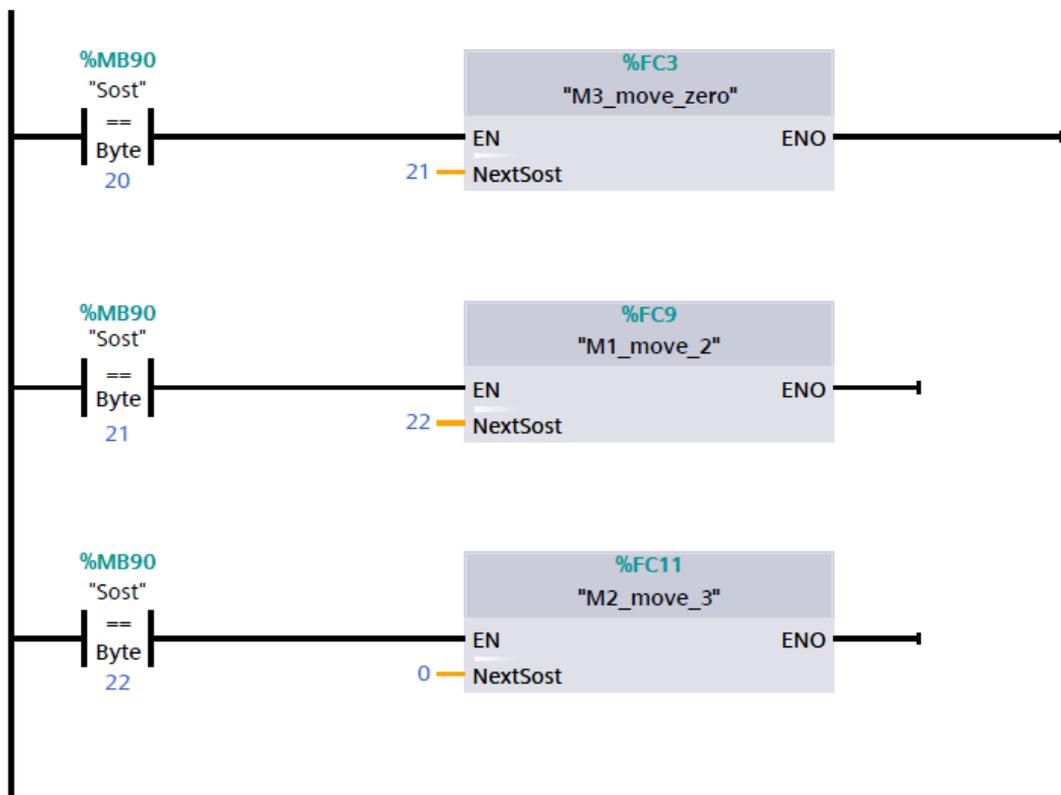


Рисунок 23 - Network 4: Переход в ячейку 2

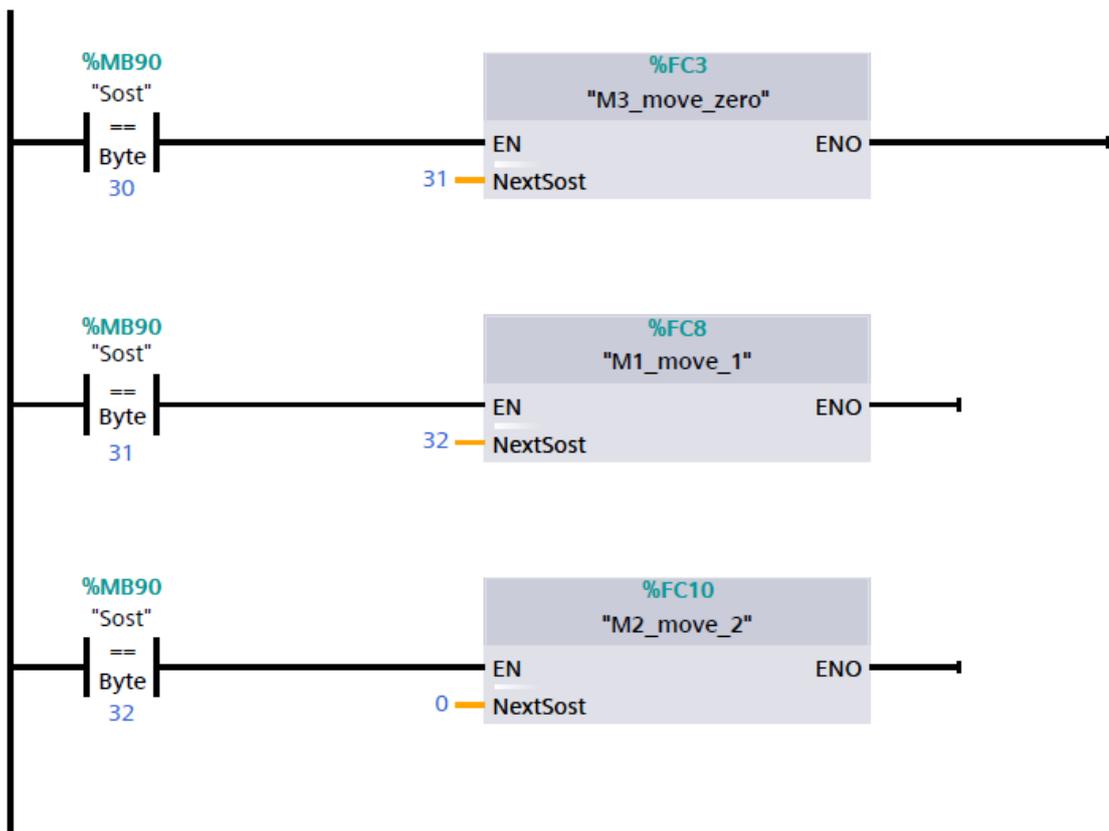


Рисунок 24 - Network 5: Переход в ячейку 3

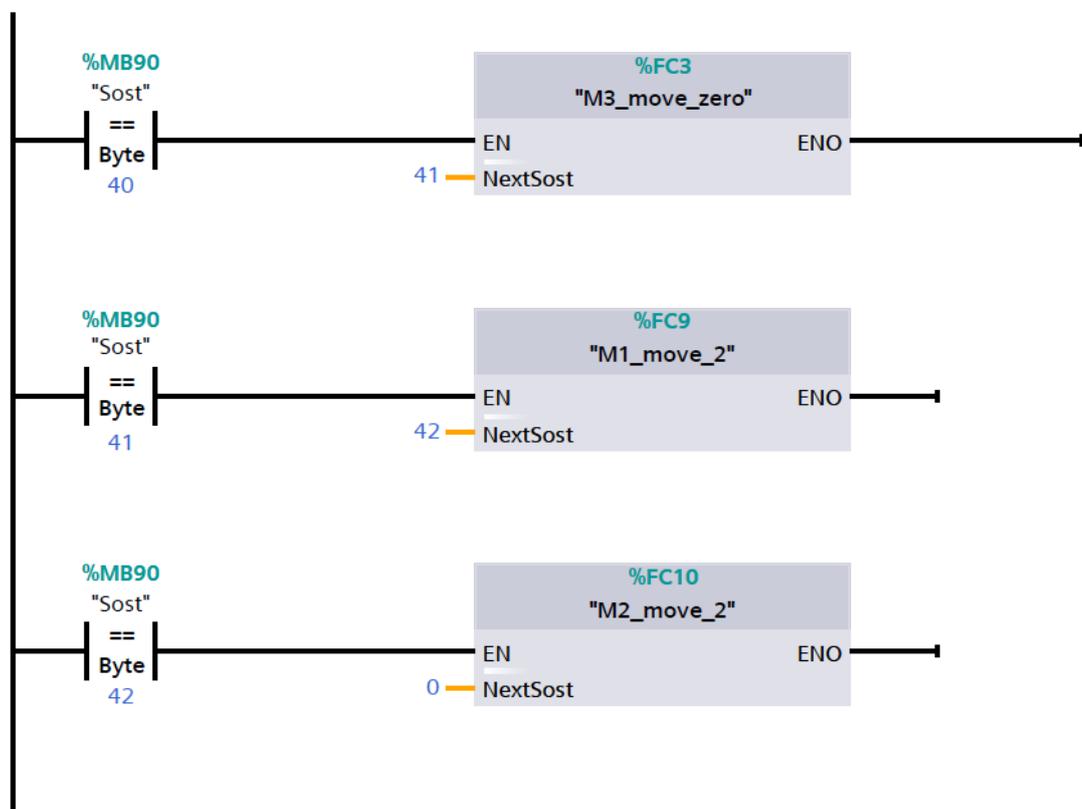


Рисунок 25 - Network 6: Переход в ячейку 4

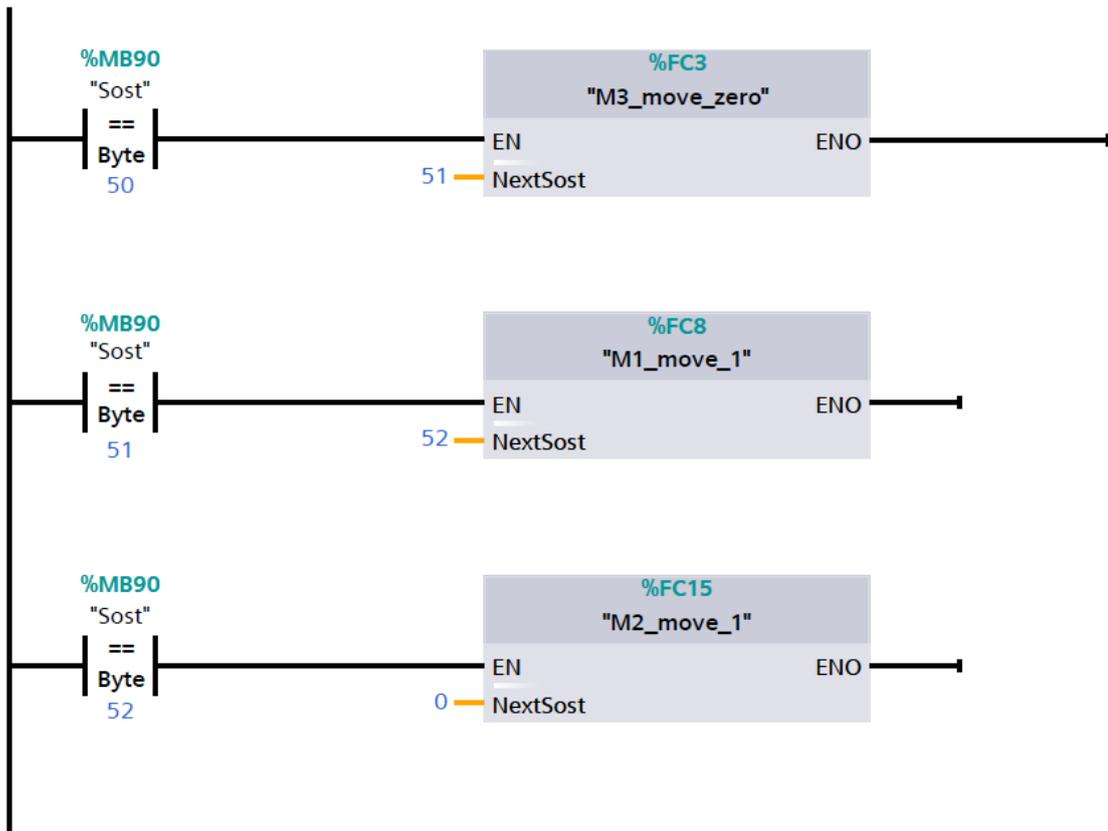


Рисунок 26 - Network 7: Переход в ячейку 5

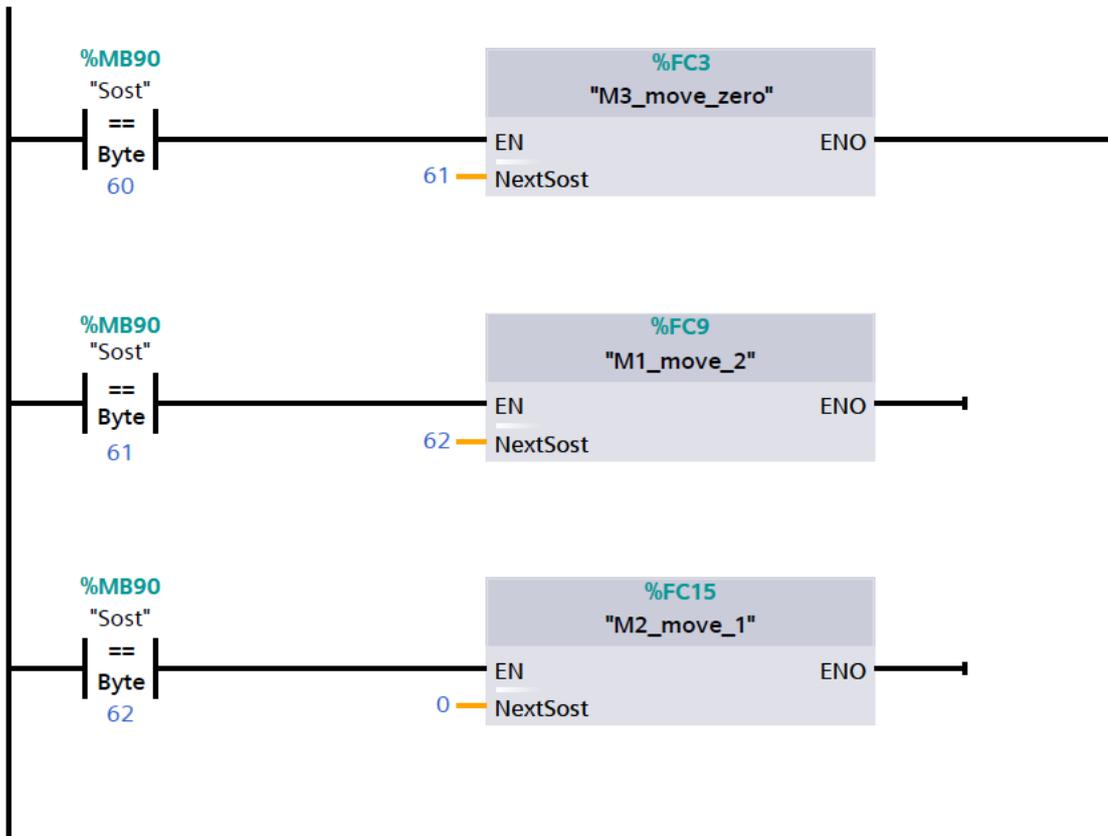


Рисунок 27 - Network 8: Переход в ячейку 6

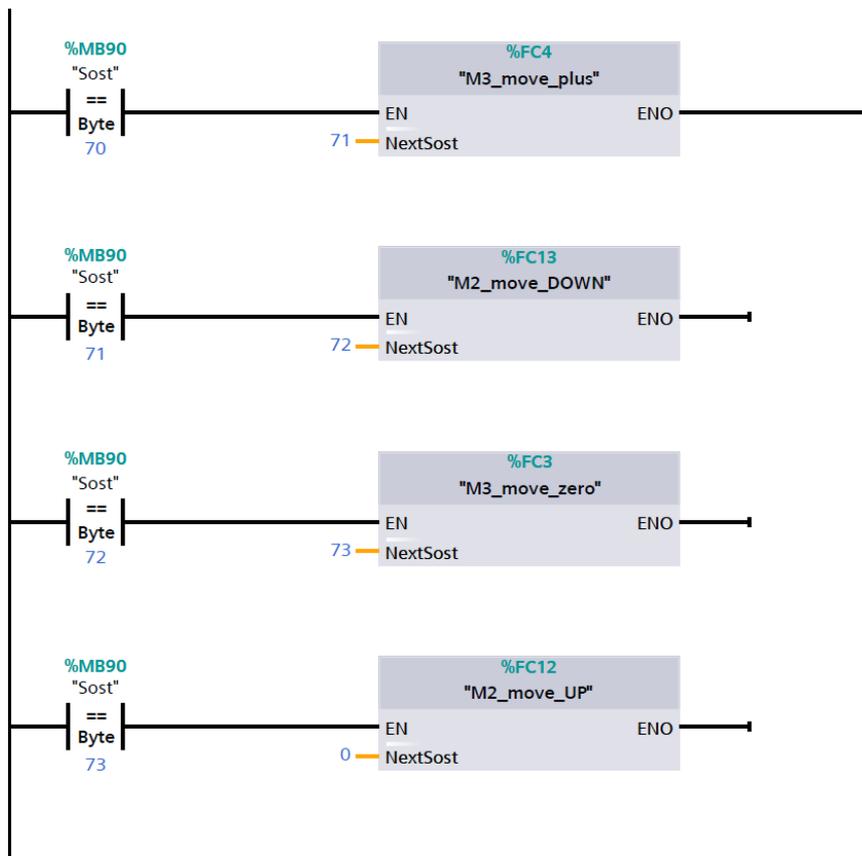


Рисунок 28 - Network 9: Положить груз

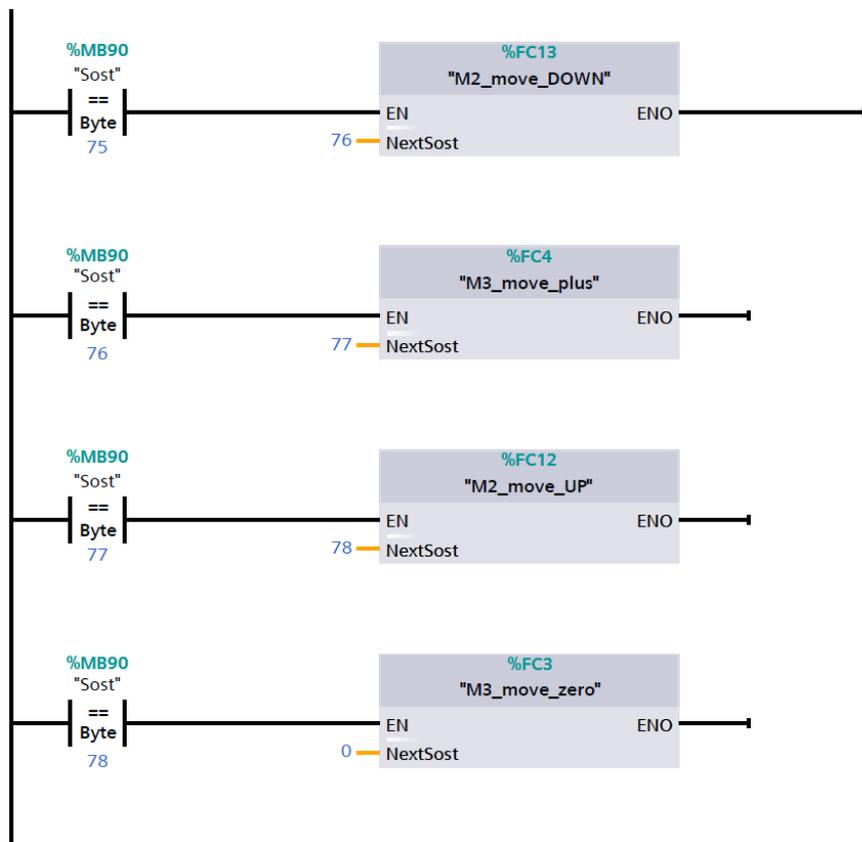


Рисунок 29 - Network 10: Забрать груз

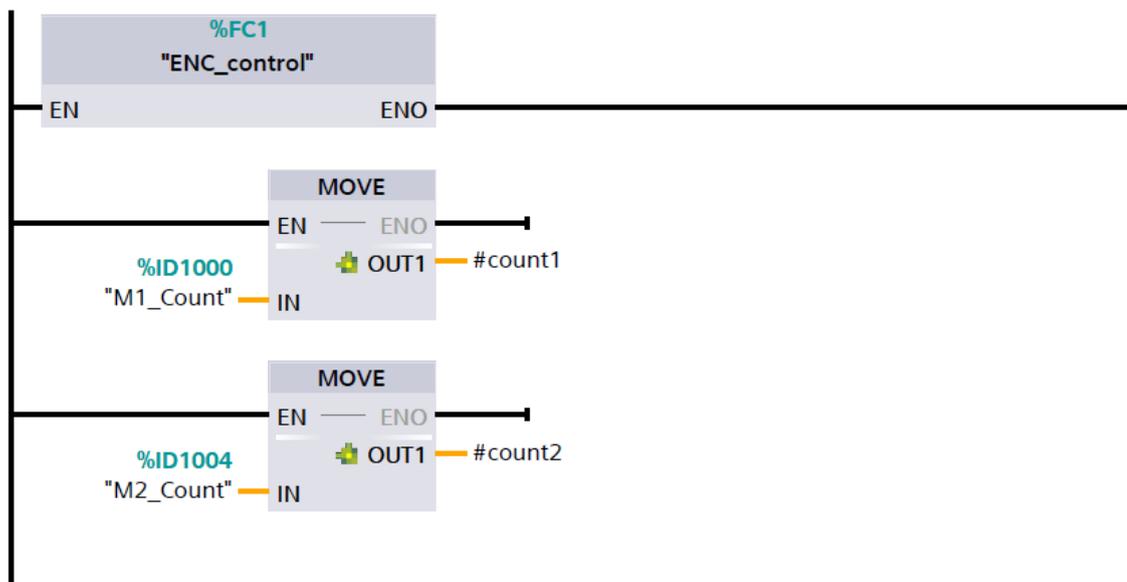


Рисунок 30 - Network 11: Контроль и значения счетчиков энкодеров

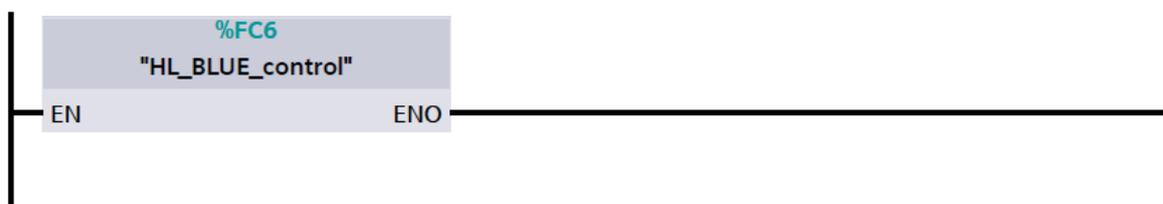
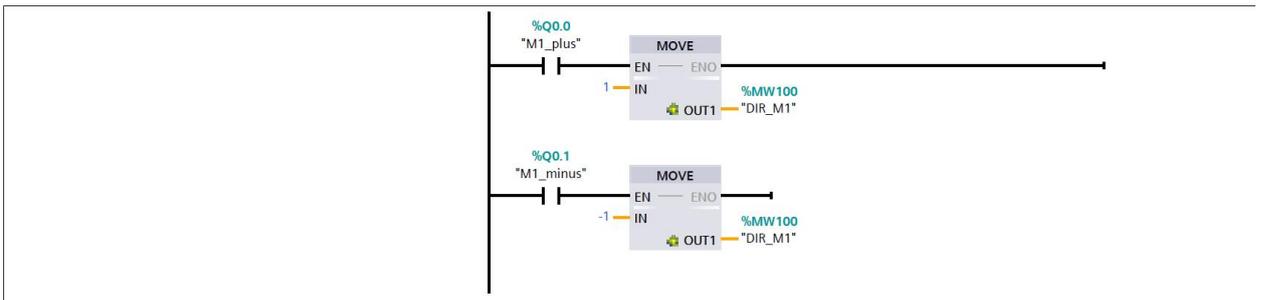


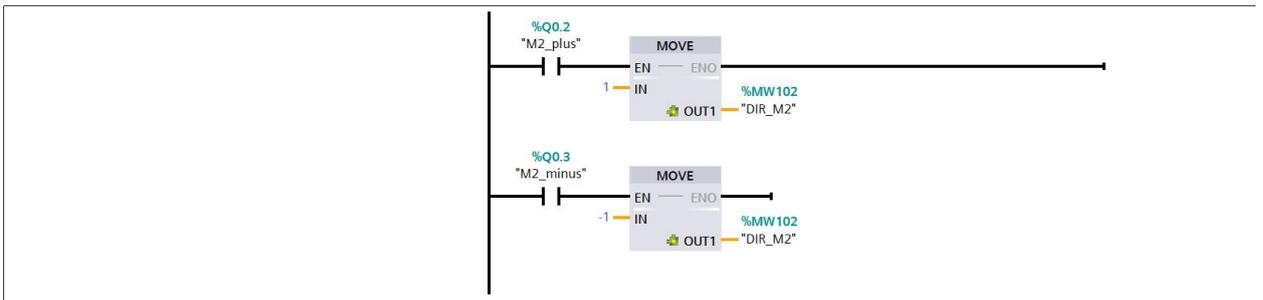
Рисунок 31 - Network 12: Контроль лампы

Функциональные блоки представлены на рисунках 32-45.

Network 1: Определение направления счета для M1



Network 3: Определение направления счета для M1



Network 4: Управление энкодером M1. Выбор направления счета и обнуление при срабатывании концевика

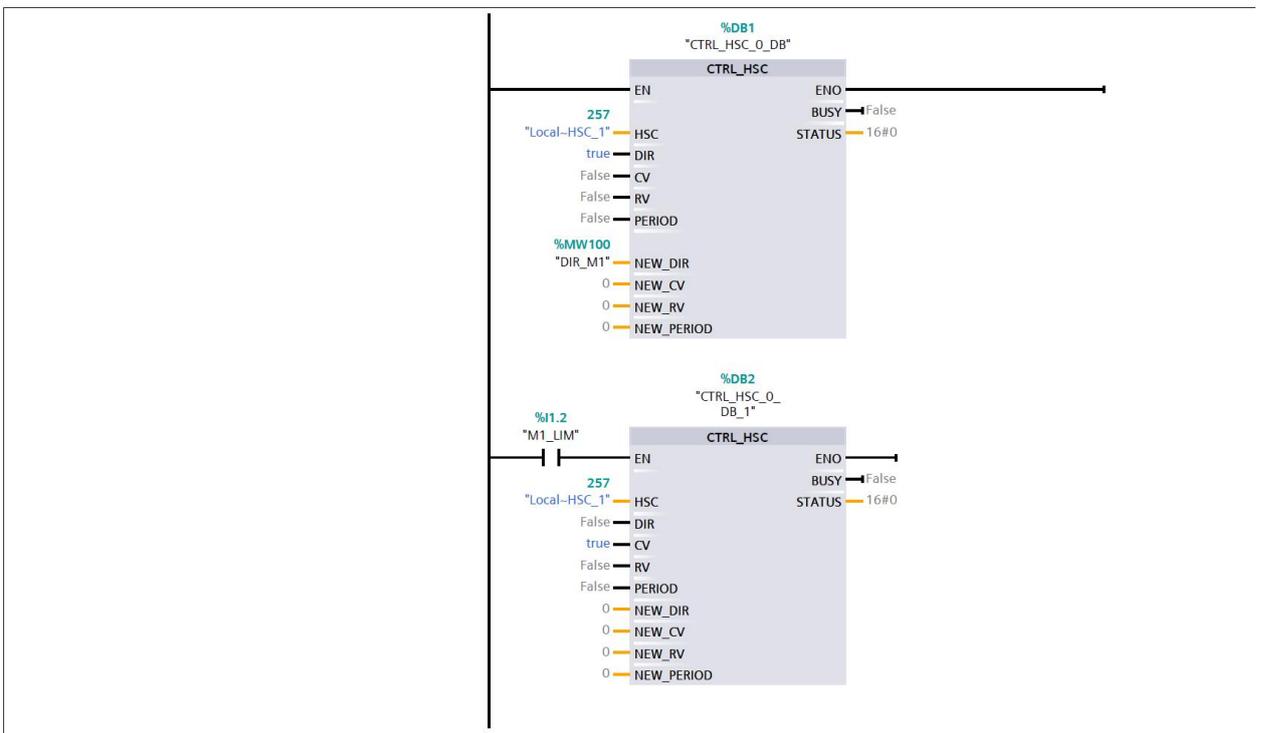
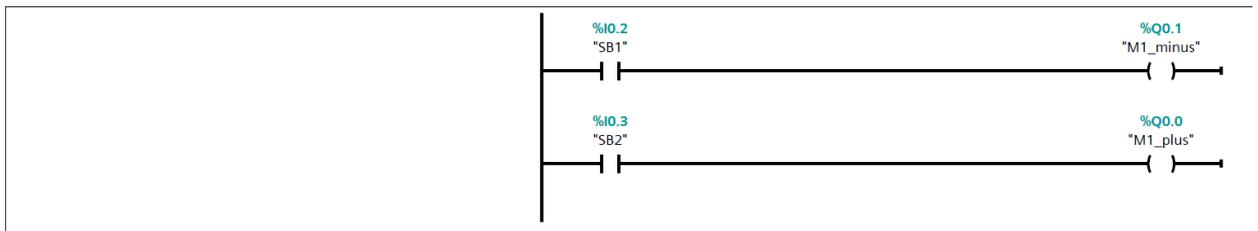


Рисунок 32 - FC1 Enc\_control

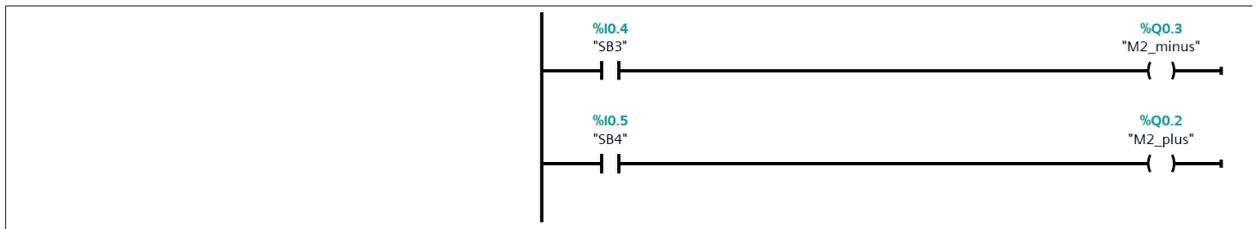
**Network 1:**

1 двигатель



**Network 2:**

2 двигатель



**Network 3:**

3 двигатель

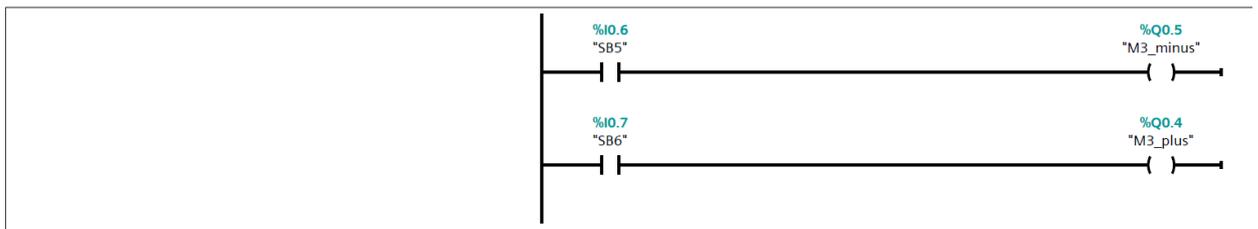


Рисунок 33 - FC2 Manual

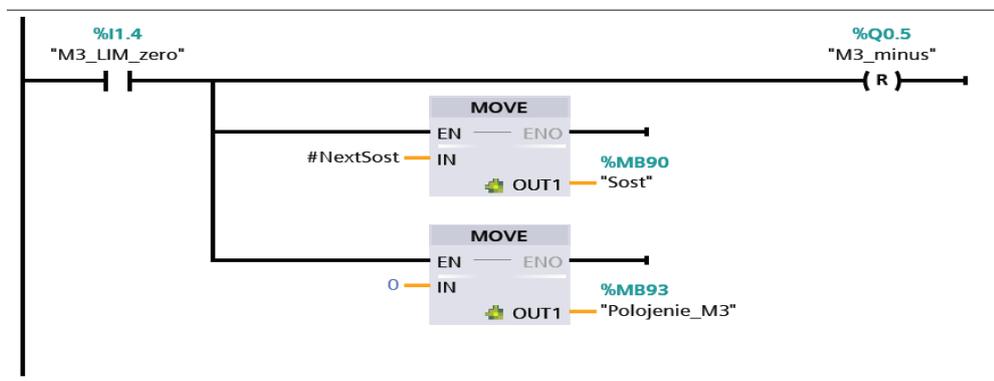
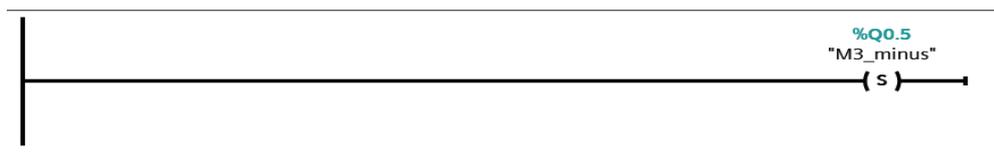


Рисунок 34 - FC3 M3\_move\_zero

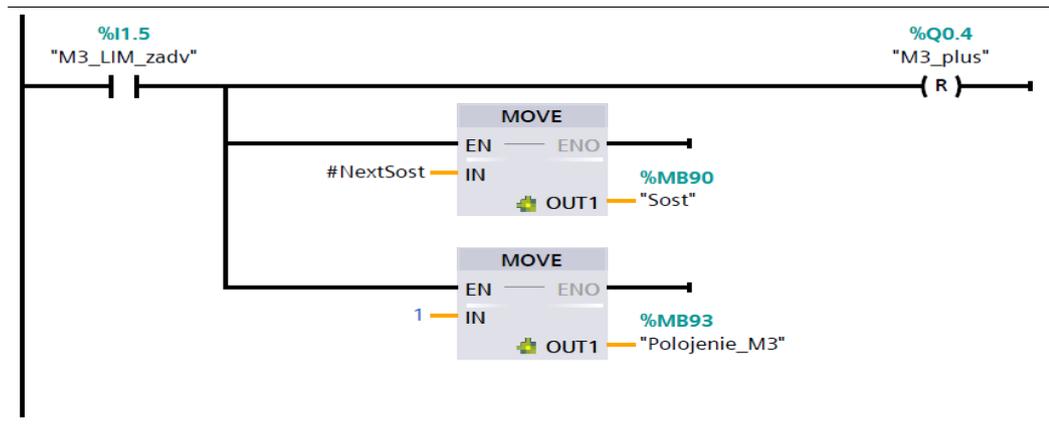
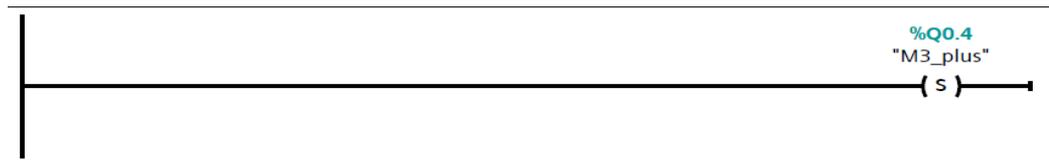


Рисунок 35 - FC4 M3\_move\_plus

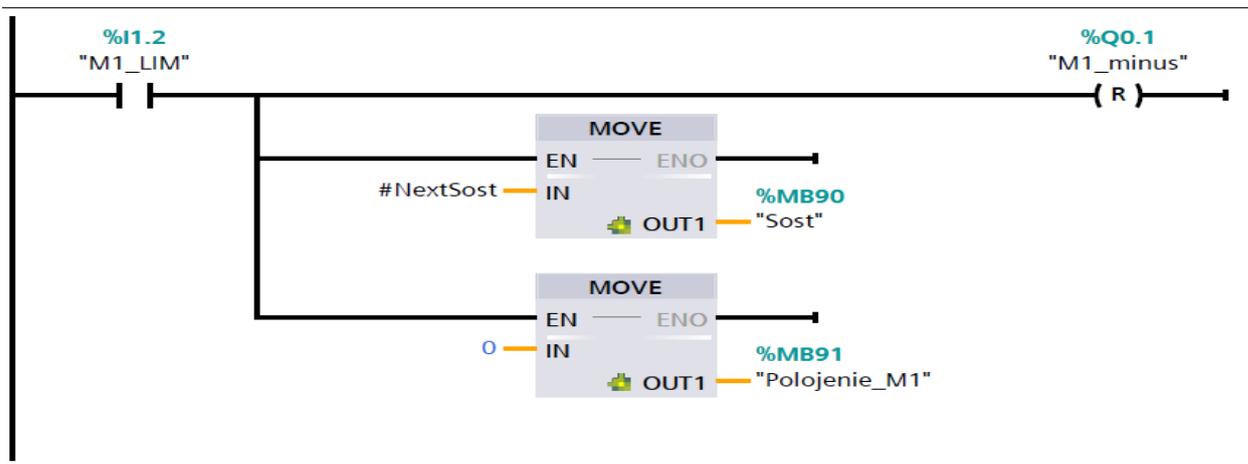
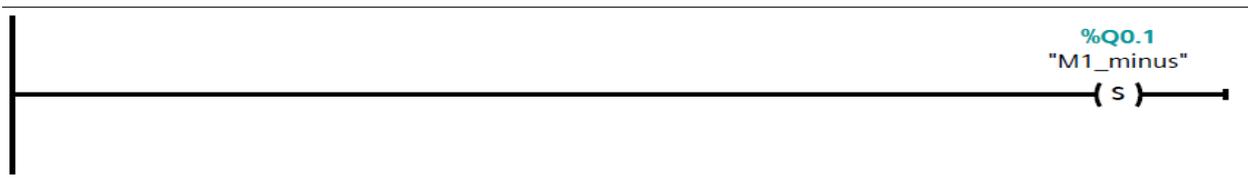


Рисунок 36 - FC5 M1\_move\_zero

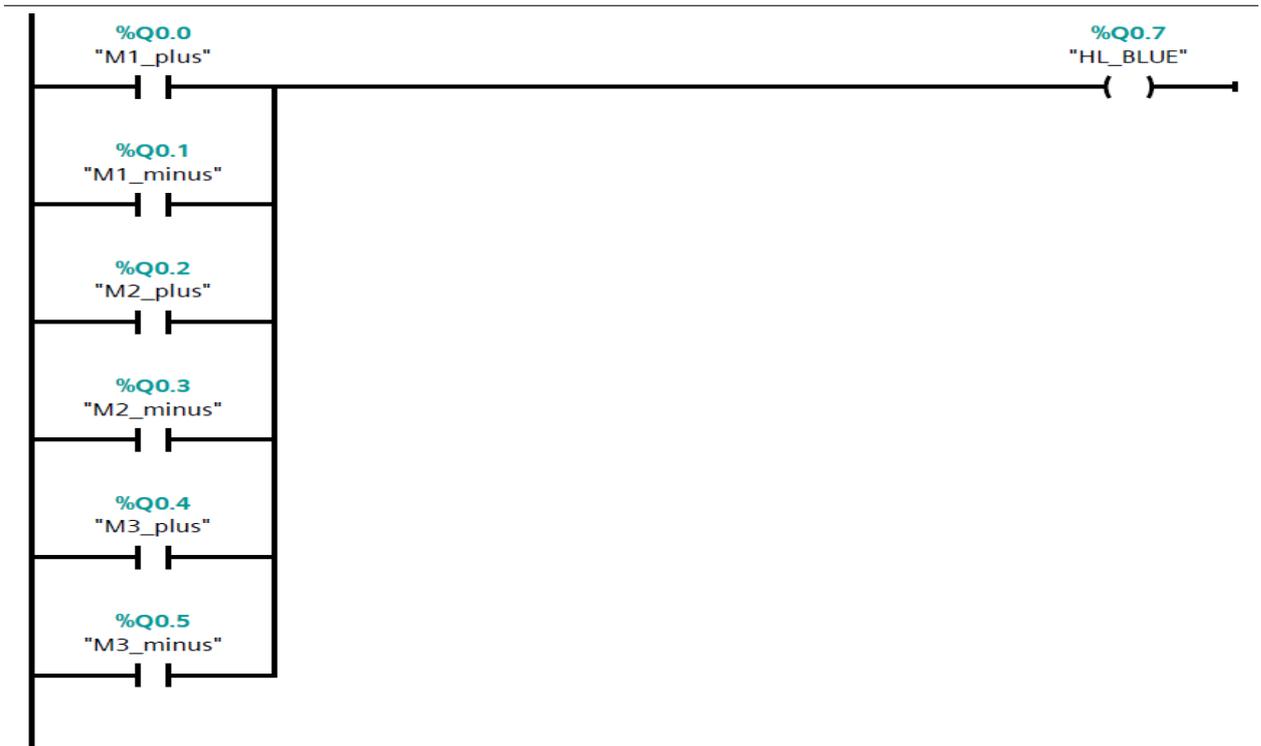


Рисунок 37 - FC6 HL\_Blue\_control

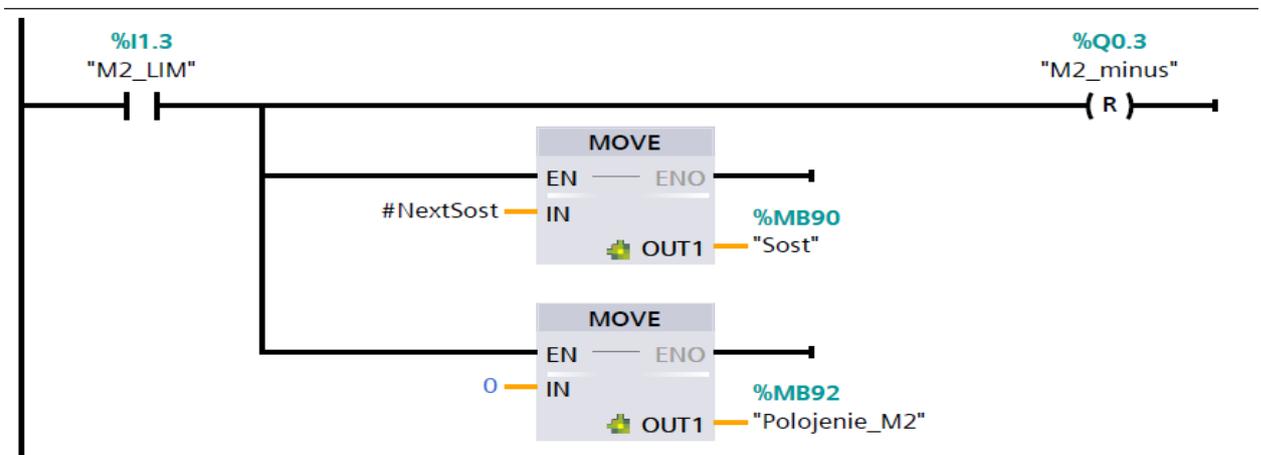
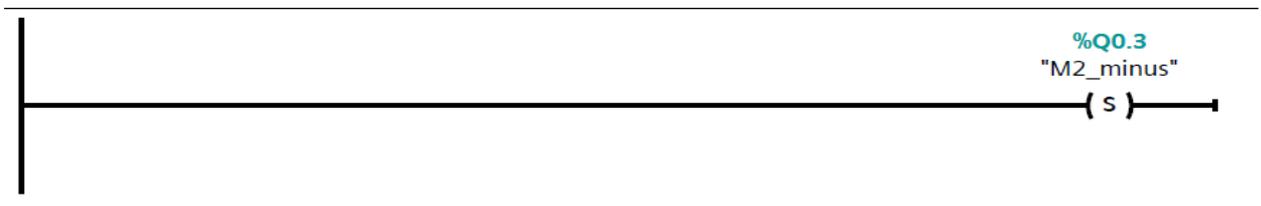


Рисунок 38 - FC7 M2\_move\_zero

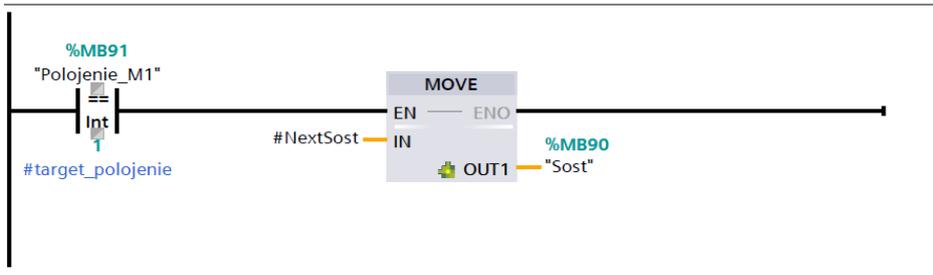
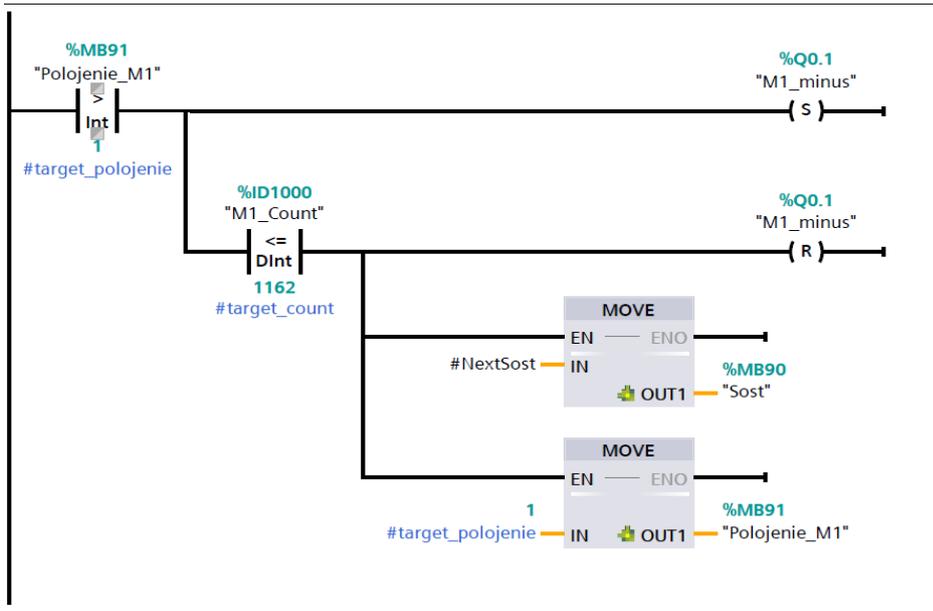
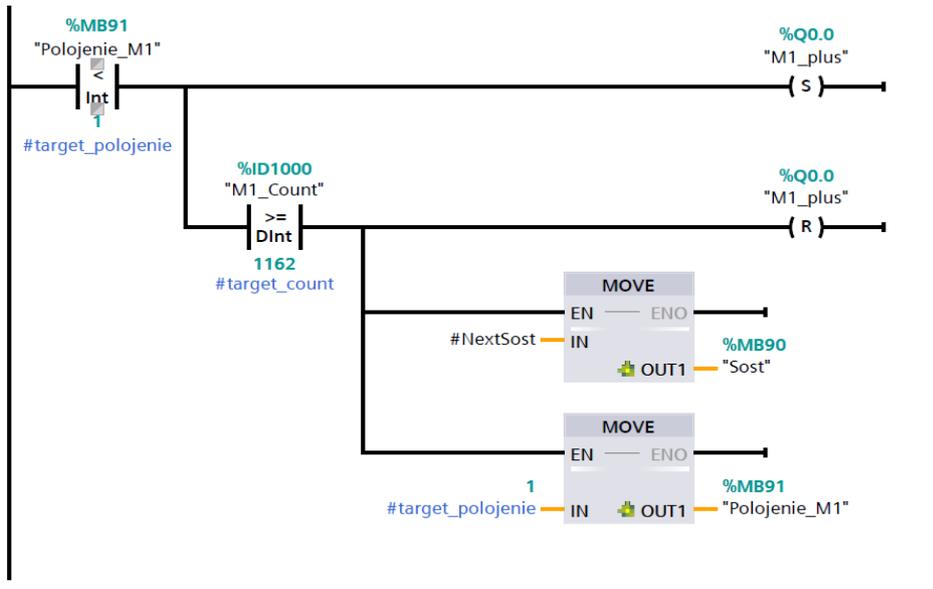


Рисунок 39 - FC8 M1\_move\_1

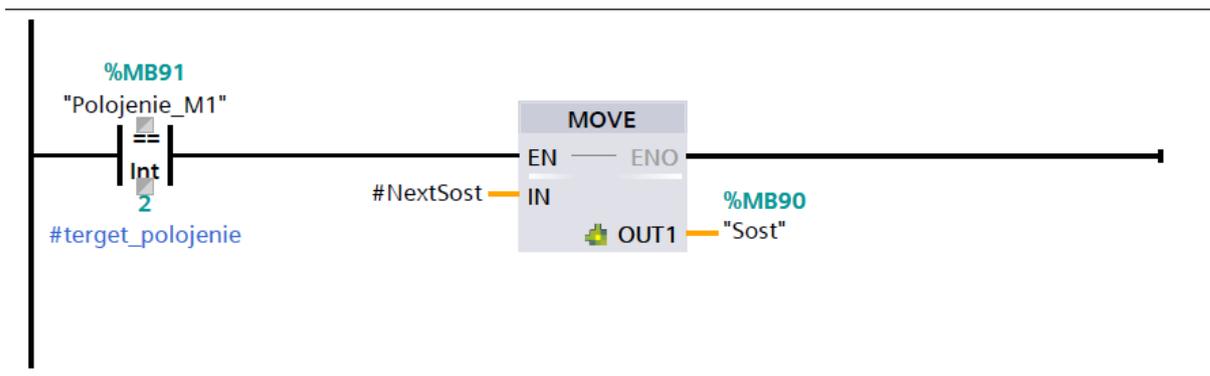
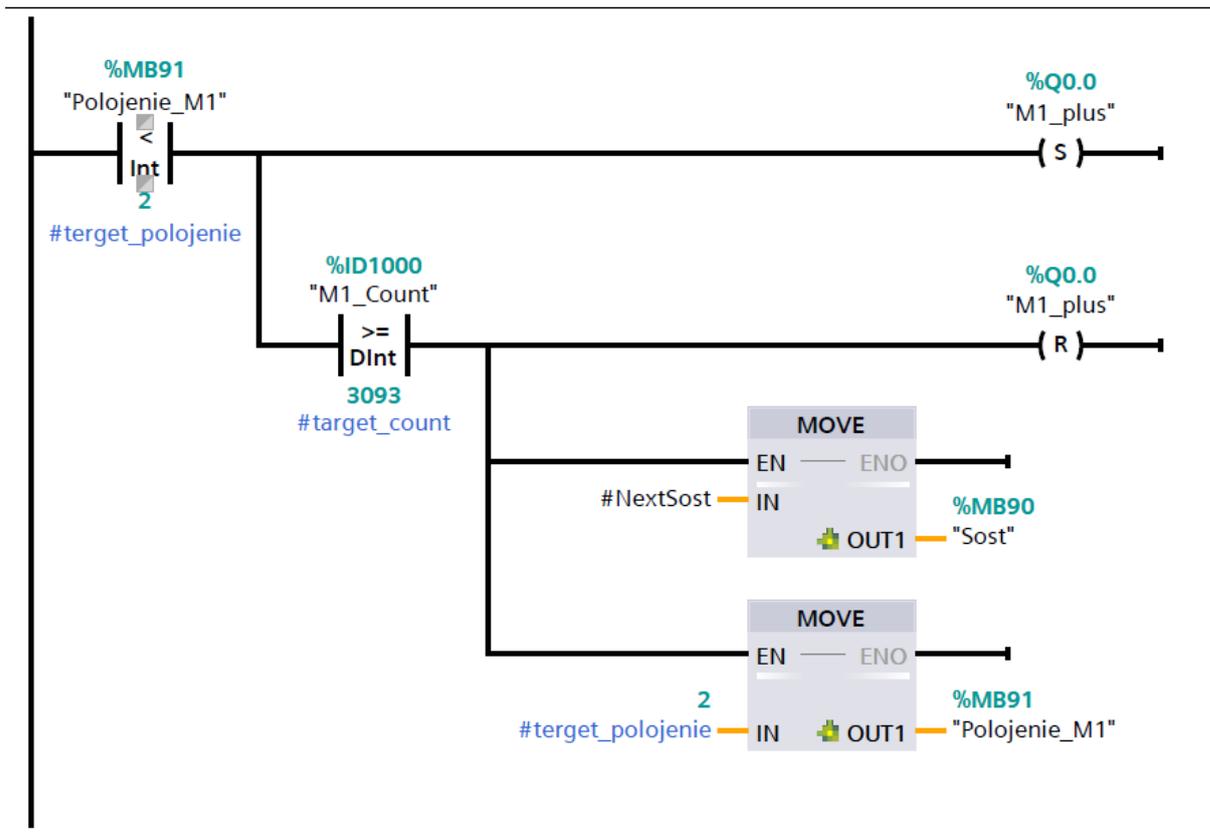


Рисунок 40 - FC9 M1\_move\_2

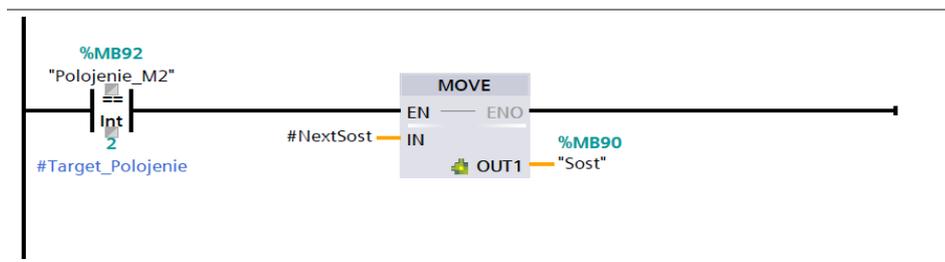
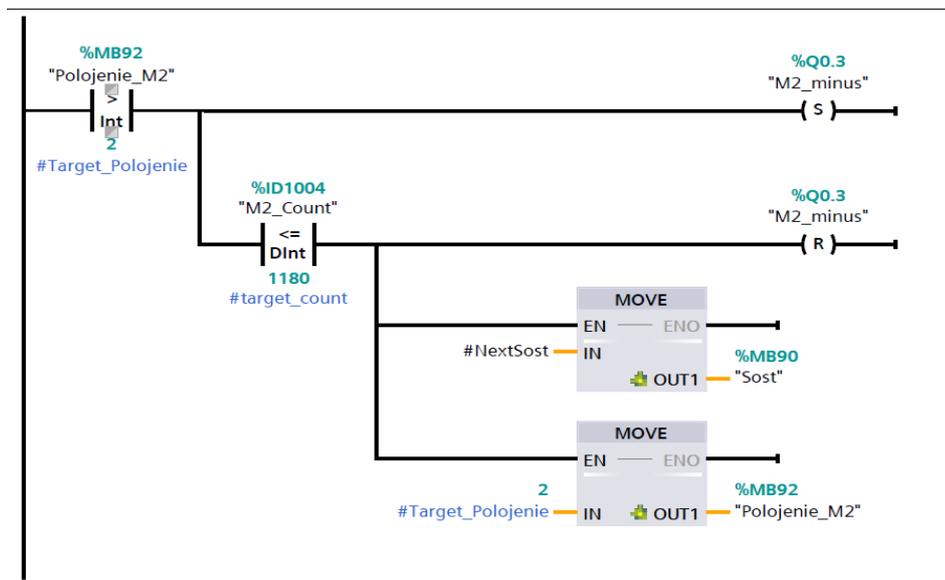
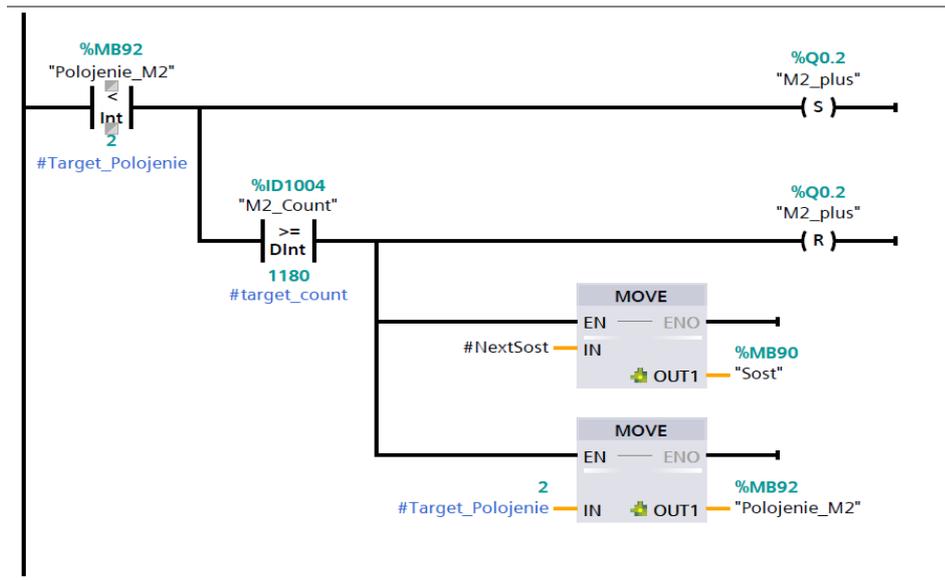


Рисунок 41 - FC10 M2\_move\_2

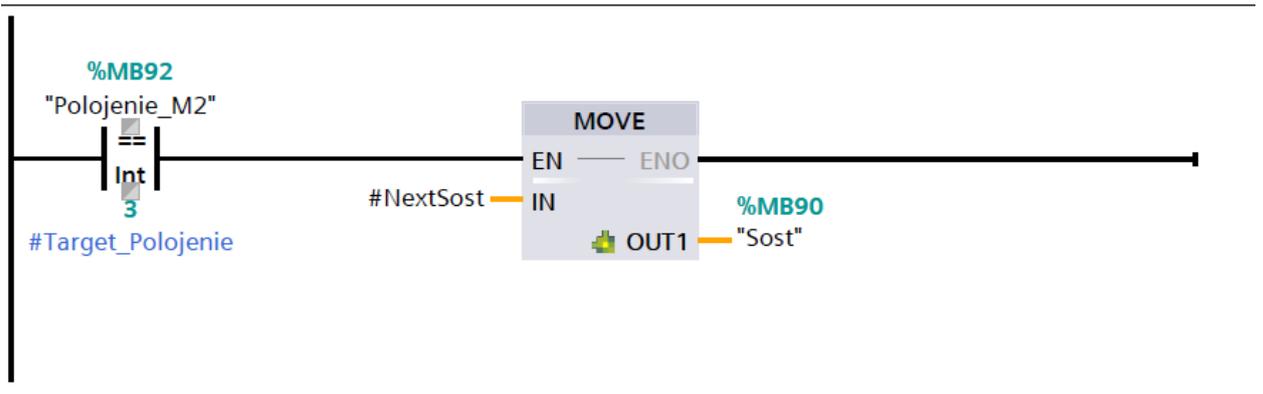
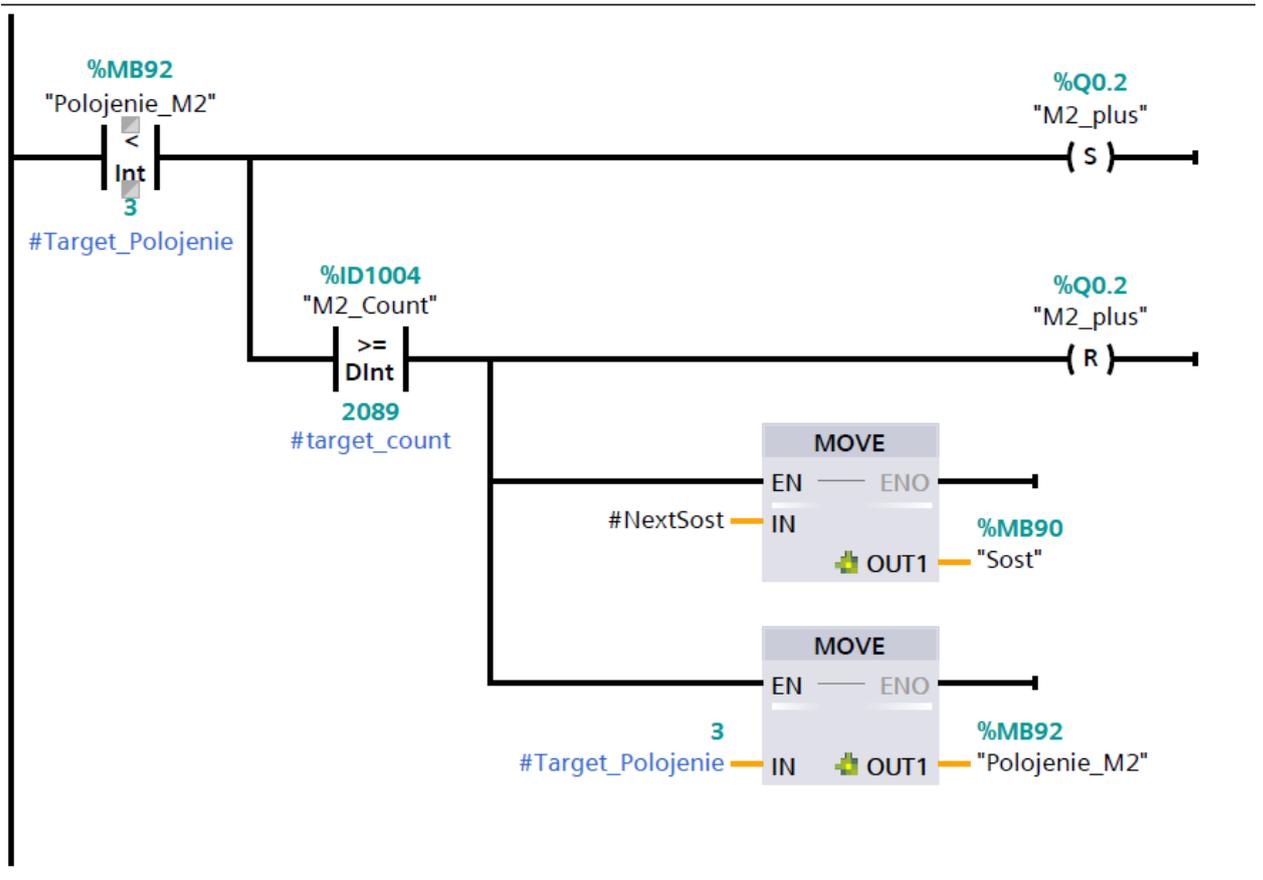


Рисунок 42 - FC11 M2\_move\_3

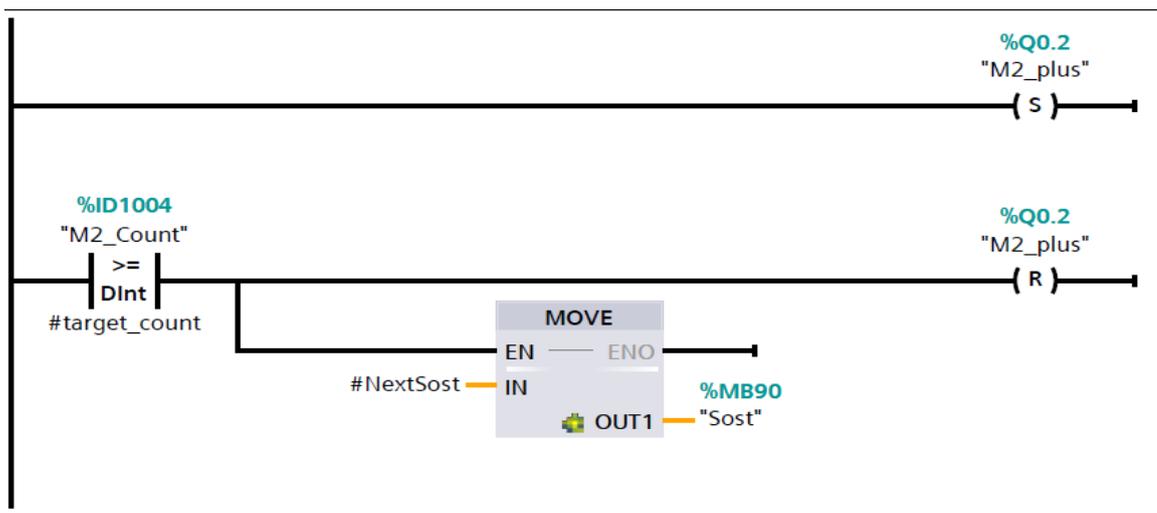
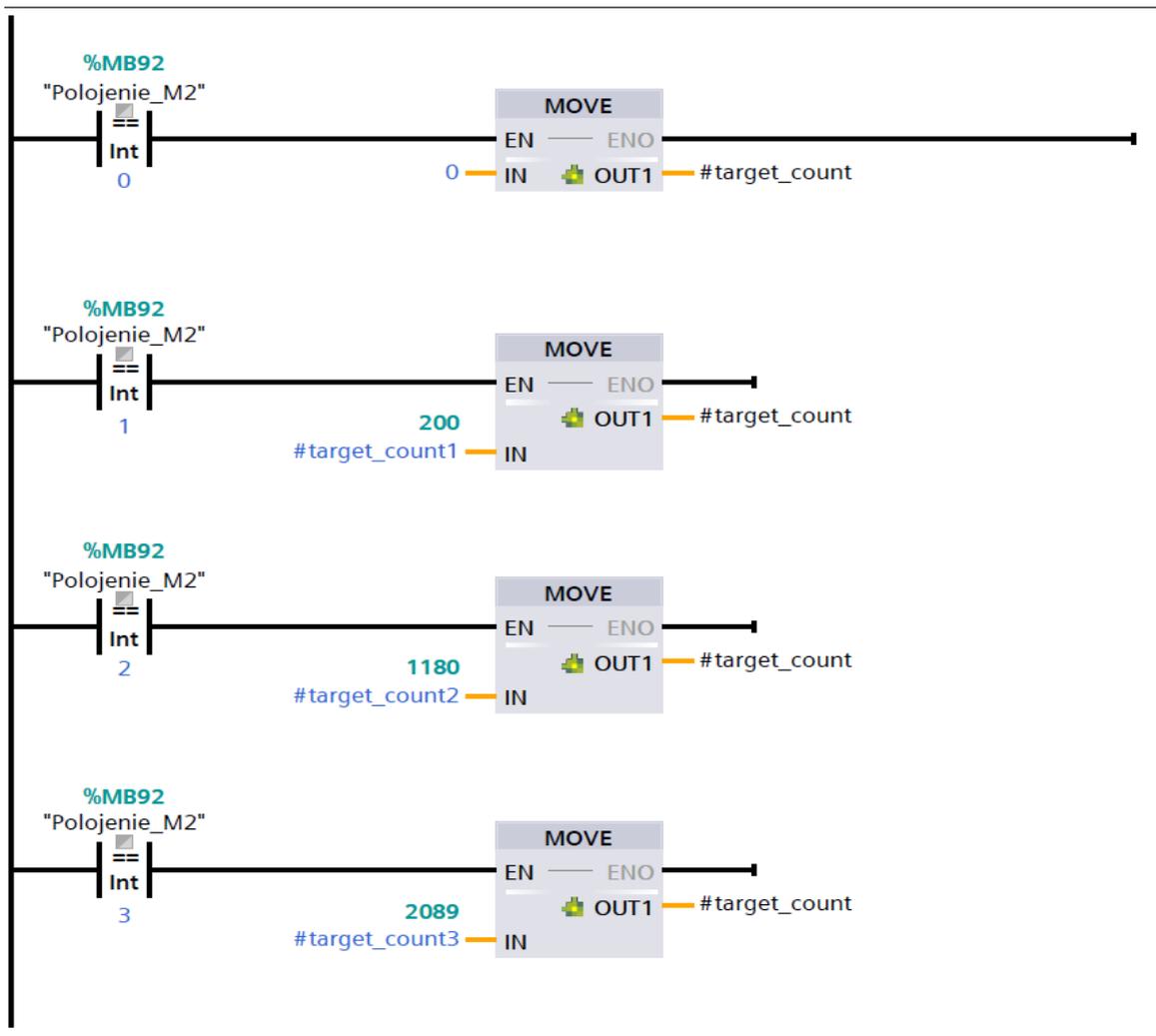


Рисунок 43 - FC12 M2\_move\_UP

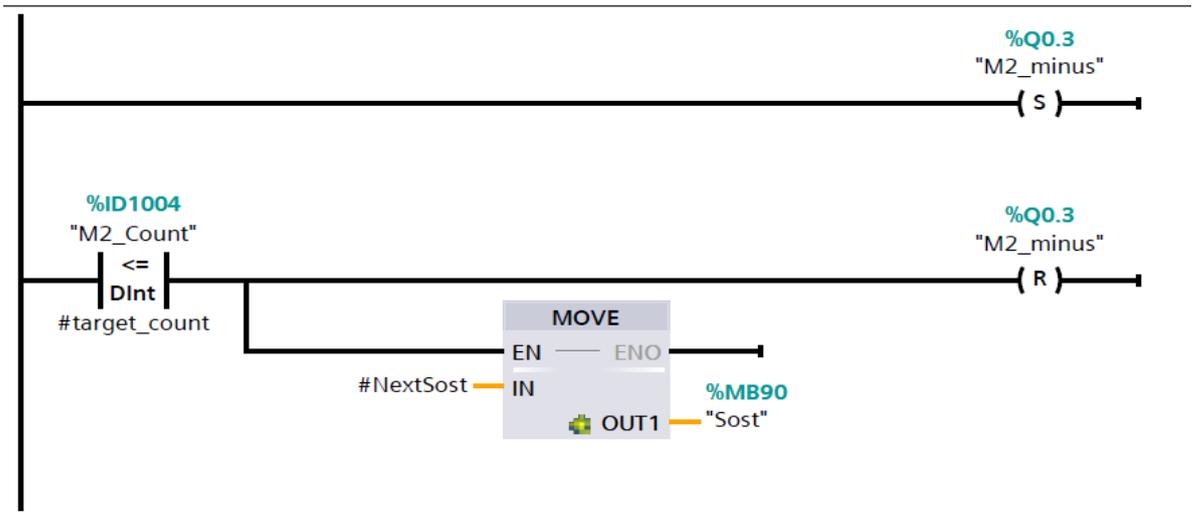
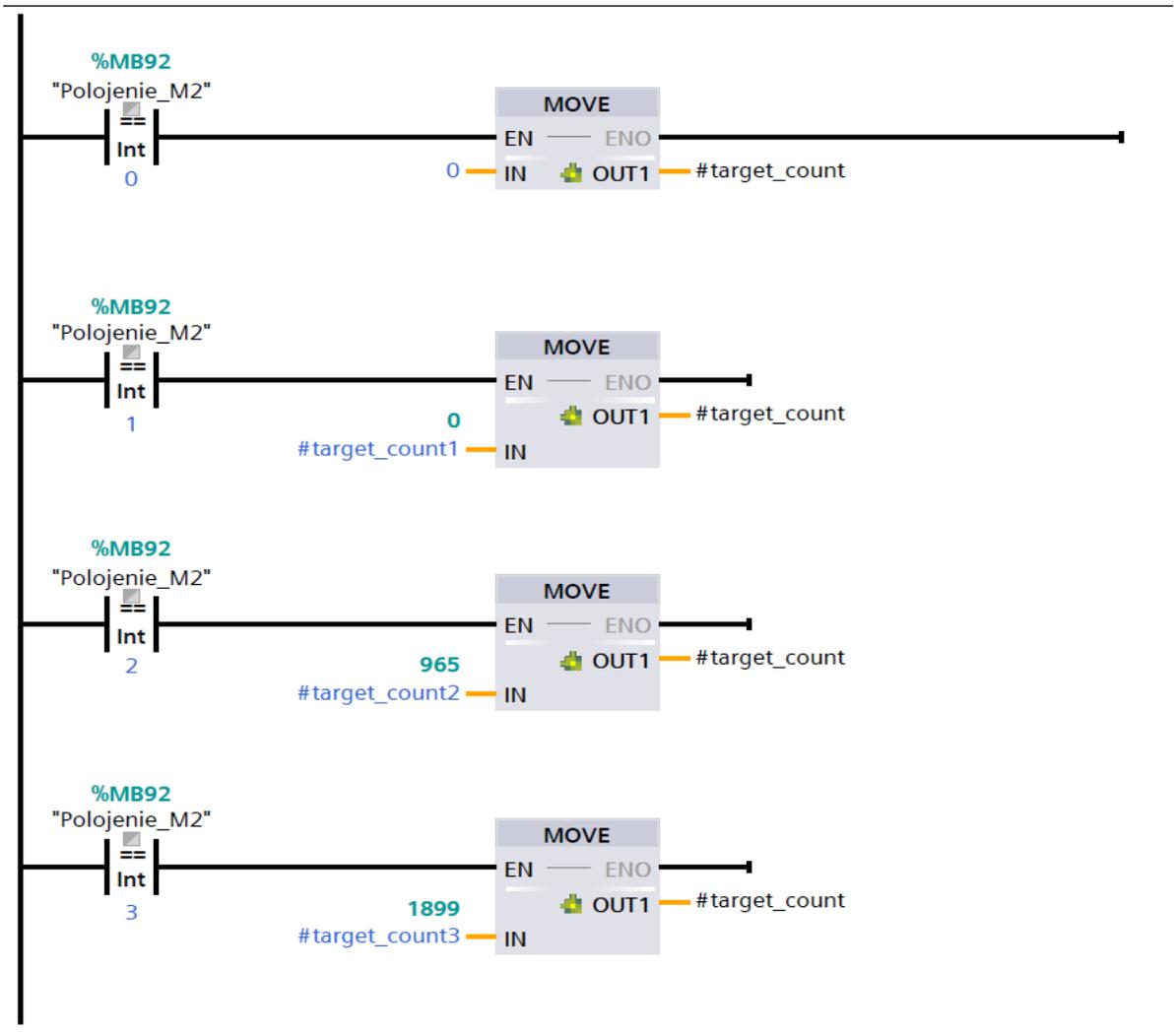


Рисунок 44 - FC13 M2\_move\_DOWN

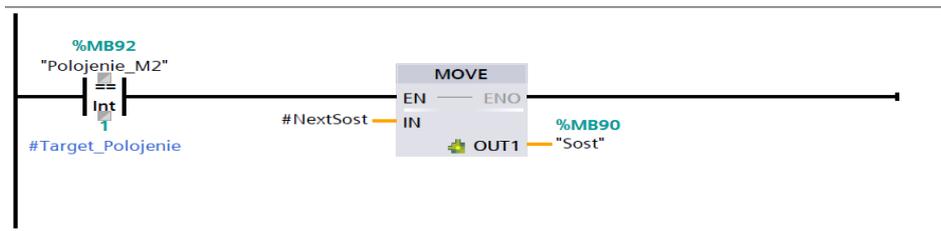
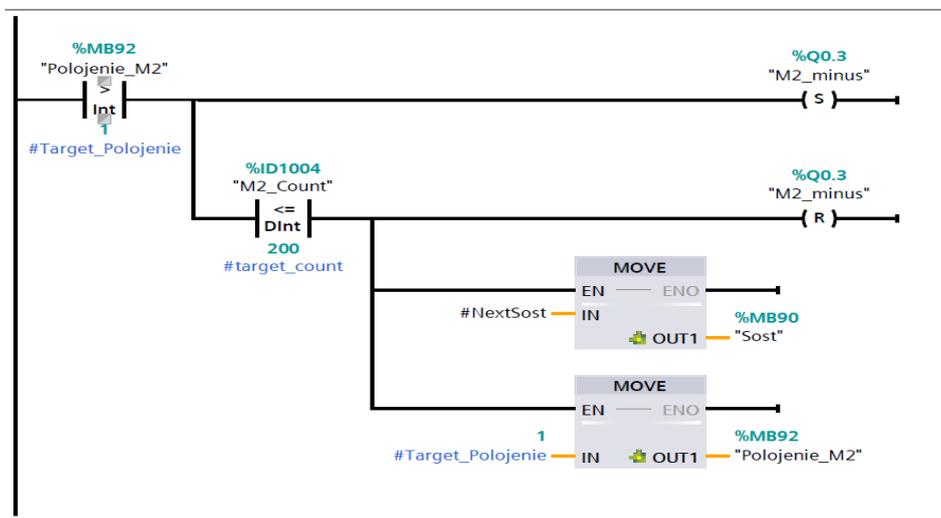
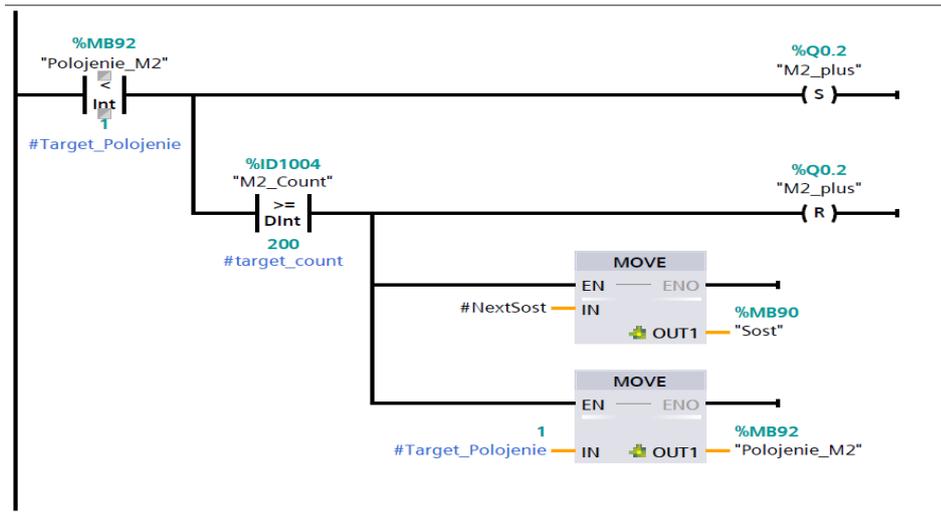


Рисунок 45 - FC15 M2\_move\_1.

## Выводы

В третьей главе произведена разработка и отладка управляющей программы для ПЛК.

## 4. Экспериментальная часть

Для отладки программы использовали режим он-лайн, позволяющий в реальном времени следить за состоянием программы и переменных (рисунок 46).

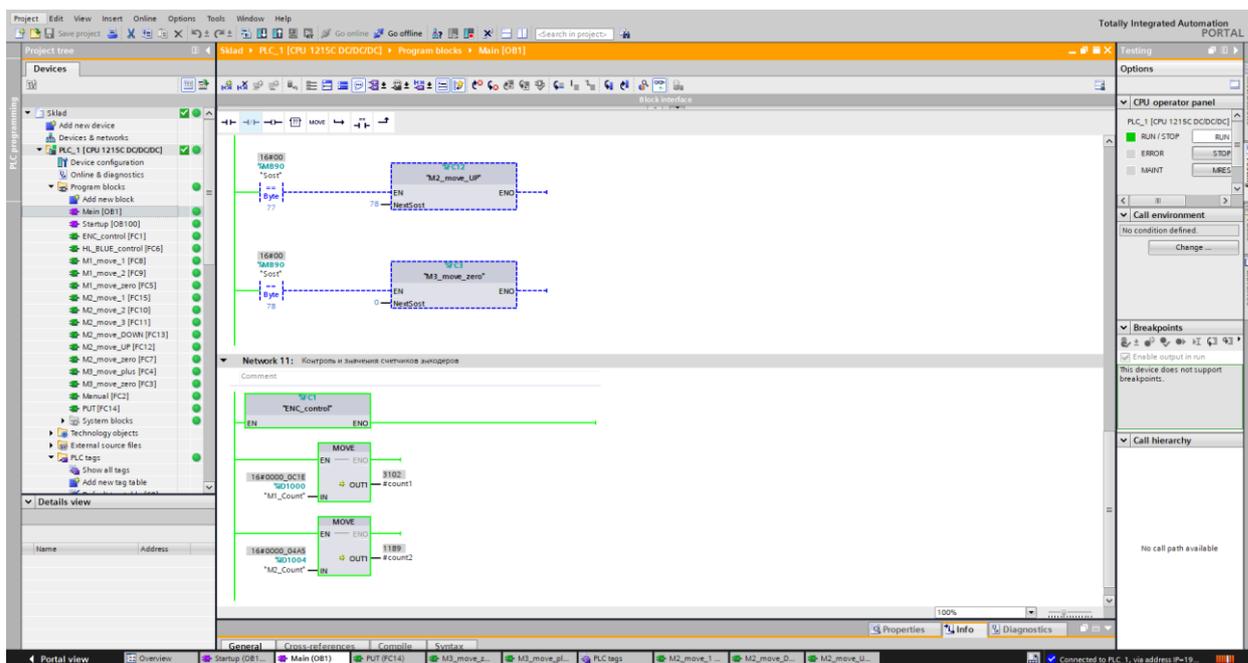


Рисунок 46 - Скриншот программы в режиме наблюдения

Полный внешний вид стенда приведен на рисунке 47.

Прежде чем программа нормально заработала пришлось решить ряд проблем. Наиболее долго решаемой оказалась проблема не верной работы высокоскоростного счетчика, считающего импульсы с энкодера. Было выявлено, что при медленном вращении двигателя счетчик считал нормально, а при быстрой – не считал. Было выдвинуто предположение, что прекращение счета связано с частотными характеристиками оптопар, пропускающими сигнал на вход ПЛК. Поэтому был снят сигнал с энкодера непосредственно на входе ПЛК (рисунок 48) и он оказался нормальным.

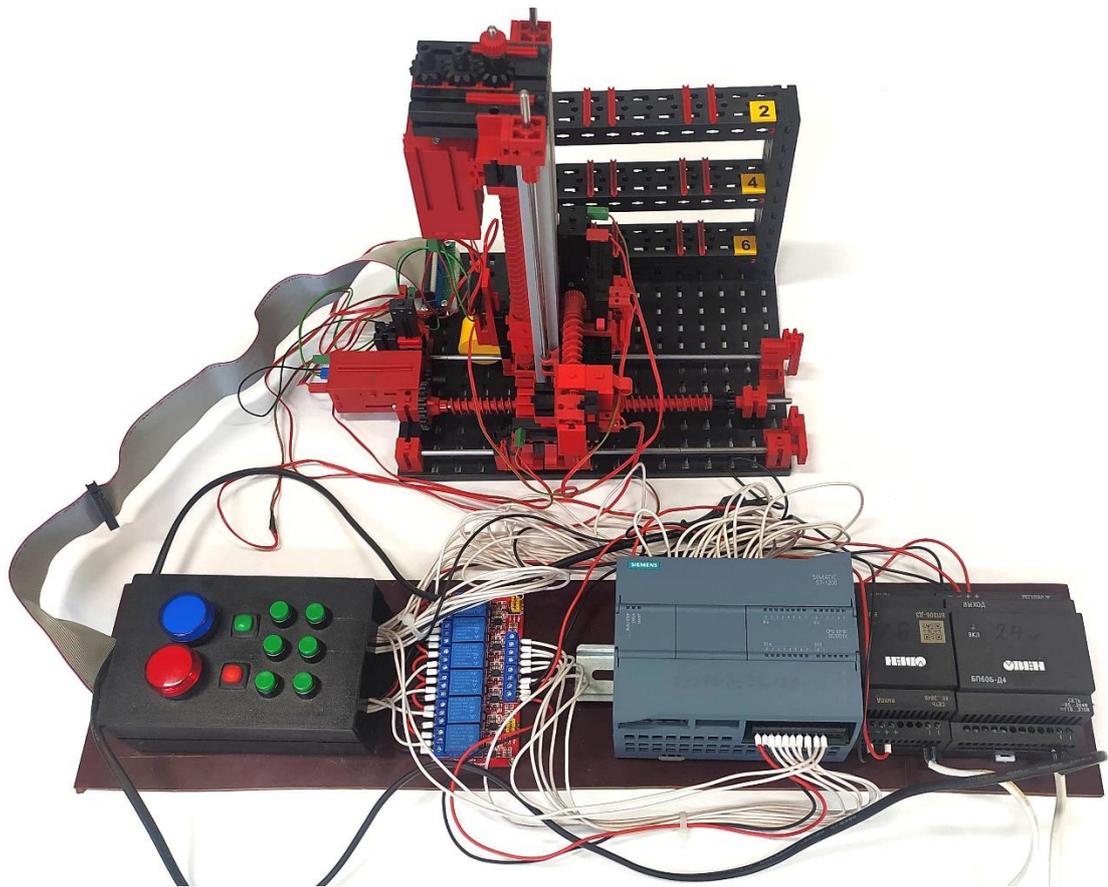


Рисунок 47 – Фотография внешнего вида стенда

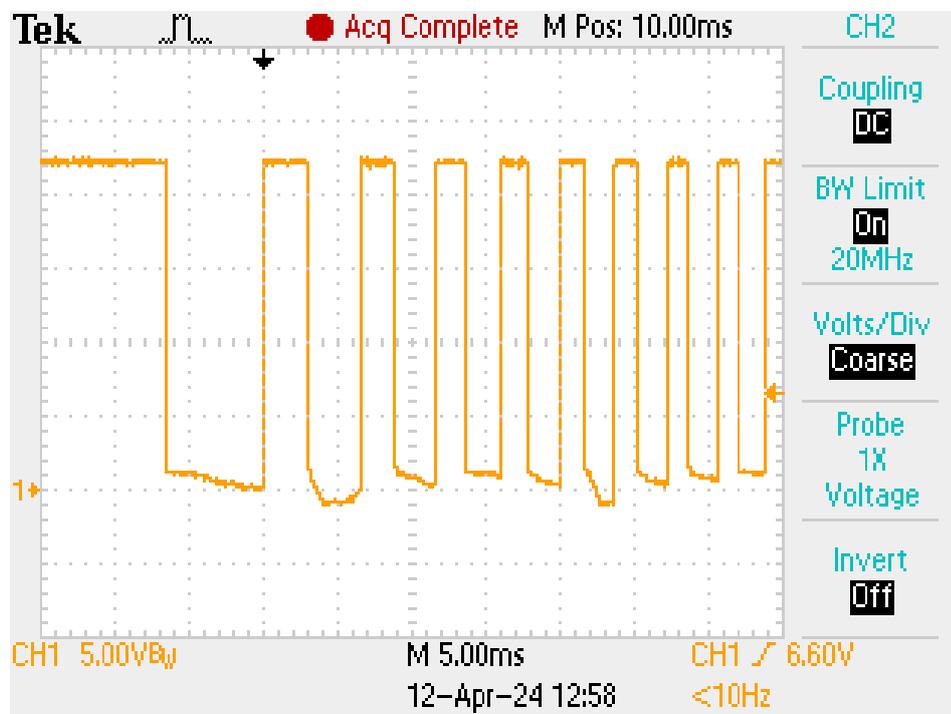


Рисунок 48 – Сигнал с энкодера на входе ПЛК IO.0.

Решение проблемы оказалось связано с настройками фильтрации входных сигналов. По умолчанию на всех входах стояла фильтрация с постоянной времени 6.4 мс (рисунок 49). Проблема была решена, когда настроили фильтрацию на меньшее время (0.2 мс).

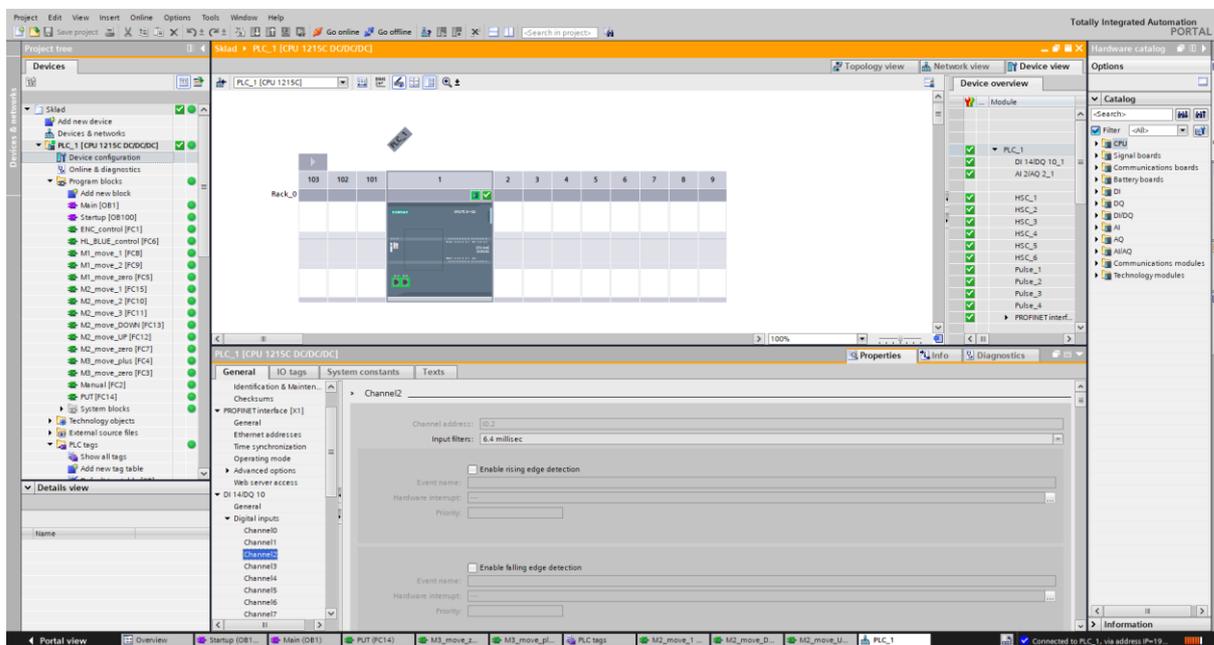


Рисунок 49 - Настройка входного фильтра на 6.4 мс.

## Выводы.

Для перемещения захвата на нужную позицию необходимо нажать соответствующую кнопку на пульте управления. Что бы захват взял груз необходимо нажать зеленую кнопку. Что бы захват положил груз необходимо нажать красную кнопку.

## Заключение

В ходе данной ВКР происходит разработка лабораторного стенда, состоящего из макета склада (собранный из конструктора Фишер Техник), контроллера Simens S7-1200 и соединяющего их блока. В состав блока входят схемы преобразования уровней напряжения и реле для управления двигателями. Данная ВКР является продолжением работы, которая была произведена в ходе проектной деятельности в предыдущем семестре обучения.

Была достигнута цель работы: разработка лабораторного стенда «Многоосевой манипулятор с микроконтроллерным управлением».

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- Изучение и наладка ранее созданных стенда из конструктора Фишер Техник и блока соединения с ПЛК
- Разработка и практическая отладка управляющей программы
- Проведение экспериментальных исследований
- Демонстрация рабочего стенда на днях открытых дверей ТГУ

Разработанный стенд предназначен для:

- демонстраций на днях открытых дверей и аналогичных мероприятиях
- использовании в качестве лабораторного стенда по дисциплинам «Программируемые контроллеры» и «Робототехника» на кафедре «Промышленная электроника» ТГУ.

При оформлении ВКР использовалась литература [14, 16, 17, 22].

## Список используемой литературы

1. Абдуллин Э. Б. Автоматизация координатных измерений в машиностроении: Учебное пособие / Э. Б. Абдуллин. – СПб.: Лань, 2016. – 160 с.
2. Бабакина Н. А., Колесников М. П. Современная промышленная электроника / Под ред. проф. Шкодырева В. П. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 267 с.
3. Басков С. Н. Система программирования ПЛК CoDeSys, методические указания для выполнения практических работ. - Челябинск: южно-уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 2018. - 90 с.
4. Бергер Ганс Автоматизация посредством STEP 7 с использованием STL и SCL и программируемых контроллеров SIMATIC S7-300/400. – 2-е издание, переработанное изд. – Нюрнберг: Департамент техники автоматизации и приводов, 2003. – 776 с.
5. Бергер Ганс Автоматизация с помощью Программ STEP7 LAD и FBD. – 2-е издание, переработанное изд. – Нюрнберг: Департамент техники автоматизации и приводов, 2003. – 605 с.
6. Ганс Бергер. Автоматизация с помощью Программ STEP7 LAD и FBD. Издание 2-е переработанное, 2001. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://gun.cs.nstu.ru/ics/Berger\\_STEP7\\_LAD%26FBD\\_r.pdf](http://gun.cs.nstu.ru/ics/Berger_STEP7_LAD%26FBD_r.pdf)
7. Дастин, Э. Тестирование программного обеспечения. Внедрение, управление и автоматизация / Э. Дастин, Д. Рэшка, Д. Пол; Пер. с англ. М. Павлов. — М.: Лори, 2017. — 567 с.
8. Деменков, Н. П. Управление в технических системах: учебник / Н. П. Деменков, Е. А. Микрин. - Москва: издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. - 452, [4] с.: ил.

9. Зубарев, Ю.М. Автоматизация координатных измерений в машиностроении: Учебное пособие. 2-е изд., пер. и доп. / Ю.М. Зубарев, С.В. Косаревский. — СПб.: Лань, 2016. — 160 с.
10. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. – М.: Форум, 2012. – 224 с.
11. Иванов, В. Э. Основы проектирования микросистем на базе SIEMENS LOGO! и S7- 200 / В.Э. Иванов, Г.К. Конопелько, - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016.- 160 с.
12. Лебедев А. М. и др. Следящие электроприводы станков с ЧПУ /А. М. Лебедев, Р.Т. Орлова, А. В. Пальцев. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 223 с.
13. Левенталь, Л. Введение в микропроцессоры: Программное обеспечение, аппаратные средства, программирование / Л. Левенталь. - М.: Энергоатомиздат, 2012. - 15 с.
14. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
15. Остроух А.В. Основы построения информационно-вычислительных сетей: методические указания / А.В. Остроух. – Электрон. текстовые дан. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2017. – 56 с.
16. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
17. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: <https://yadi.sk/d/Fs->

9ts\_VInrE3Q/ВКР\_(Diplom) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.02.2021)

18. Рекус, Г. Г. Общая электротехника и основы промышленной электроники / Г.Г. Рекус. - М.: Высшая школа, 2019. - 656 с.

19. Сергеев, А. И. Программирование контроллеров систем автоматизации: учебное пособие / А.И. Сергеев, А. М. Черноусова, А. С. Русяев; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2016. – 125 с.

20. Советы по началу работы SINAMICS V20 . Компактное руководство по эксплуатации: [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/doc341515662\\_622879679?hash=zC42XbH5OE5C0FmrEd7qkBzvKGTu1EiNct3GCHR66H&dl=DCA5qpTt7gLSzvZ2Suu4Hs5Vqoicxd2WjJFNvsXPXD](https://vk.com/doc341515662_622879679?hash=zC42XbH5OE5C0FmrEd7qkBzvKGTu1EiNct3GCHR66H&dl=DCA5qpTt7gLSzvZ2Suu4Hs5Vqoicxd2WjJFNvsXPXD) (Дата обращения 9.06.2023)

21. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. — Ст. Оскол: ТНТ, 2016. — 524 с. (Дата обращения 9.06.2023)

22. Электроника и нанoeлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.

23. Cook, В. М. "Design automation." Computer-Aided Design 21, no. 8 (October 1989): 535. [Электронный ресурс]. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485\(89\)90064-x](http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485(89)90064-x). (Дата обращения 9.06.2024)

24. Farrell, Bradley. "The role of the human in an age of automation." APPEA Journal 58, no. 2 (2018): 545. [Электронный ресурс]. URL: <http://dx.doi.org/10.1071/aj17188>. (Дата обращения 9.06.2024)

25. Hans Berger Automating with SIMATIC S7-1500 Configuring Programming and Testing. [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/doc341515662\\_622879596?hash=3CS0e7sw4xZbujq4NjZ5017VIt](https://vk.com/doc341515662_622879596?hash=3CS0e7sw4xZbujq4NjZ5017VIt)

WbmdBvdfvPTHnvgnH&dl=kExpGykwoMGzvdCT1NGGjSGBG8kPL7wyWazj  
bmJ5FGs (Дата обращения 9.06.2024)

26. Hugh Jack Automating manufacturing systems with PLCs. - Version 5.0 изд. - Free Software Foundation, 2007. - 839 с.

27. Kusiak, Andrew, and Mehmet Aktan. "Automation in Engineering Design." IFAC Proceedings Volumes 31, no. 15 (June 1998): 217–22. [Электронный ресурс]. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)40556-8](http://dx.doi.org/10.1016/s1474-6670(17)40556-8). (Дата обращения 9.06.2024)

28. S. A. Prasad, B. S. Kariyappa, R. Nagary, S. K. Thakur, Microcontroller Based AC Power Controller, Wireless Sensor Network, Vol. 1, Issue 2, Jul 2009, pp. 76-81.

29. Shah, Ankit P., Prof Kalpesh N. Shah, and Prof Harsh B. Joshi. "Design Automation of Shell." Indian Journal of Applied Research 4, no. 4 (October 1, 2011): 214–16. [Электронный ресурс]. URL: <http://dx.doi.org/10.15373/2249555x/apr2014/65>. (Дата обращения 9.06.2024)