

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Институт компьютерных наук и технологий
Кафедра «Системы и технологии управления»

Работа допущена к защите

Заведующий кафедрой СТУ

_____ В.П. Шкодырев

«__» _____ 2016 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫМ КРАНОМ

направление 27.03.04 – Управление в технических системах

профиль 27.03.04_02 – Системы и технические средства автоматизации и
управления

Выполнил

студент гр. 43503/5

<

>

А.Х. Атаназаров

Научный руководитель

к.т.н., доц.

<

>

А.Н. Щербина

Санкт-Петербург
2016

РЕФЕРАТ

На 42 с., 1 таблица, 12 рисунков, 5 приложений

ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНТРОЛЛЕР, ПЛК, МОСТОВОЙ КРАН, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ

В данной работе реализована система управления мостовым краном, включающая в себя несколько способов управления: с пульта (дискретное задание скорости), с панели (дискретное и аналоговое задание скорости) и автоматизированный (аналоговое задание скорости, демпфирование колебаний). Демпфирование реализовано на основе трапецеидального алгоритма. При этом учитываются возможные аварийные ситуации, и ведется история их возникновения. Также реализованы различные другие функции, характерные для подобных систем.

ABSTRACT

42 pages, 1 table, 12 pictures, 5 applications

LOGIC CINTROLLER, PLC, BRIDGE CRANE, CONTROL SYSTEM, AUTOMATION, VIBRATION DAMPING

In the given work the bridge crane control system was made. The control is realized by remote control (discrete speed preset), HMI (discrete and analog speed preset) and full automatic (analog speed preset with vibration damping). Vibration damping algorithm is trapezoidal speed graph. Control system also includes protections specific for this type of system.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

CAN – Controller Area Network – сеть контроллеров.

CFC – Continuous Function Chart – непрерывная функциональная диаграмма

DO – Digital Output – Дискретные выходы

DI – Digital Input – Дискретные входы

GVL – Global Variable List – список глобальных переменных

HSC – High Speed Counter – высокоскоростной счетчик

LD – Ladder Logic Diagram – лестничная диаграмма

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных.

SFC – Sequential Function Chart – последовательная функциональная диаграмма

ST – Structured Text – структурированный текст

ПЛК – программируемый логический контроллер

ПЧ – преобразователь частоты

РАДУК – система радиоуправления краном

РРСУ – резервная релейная система управления.

СУ – система управления

ФБ – Функциональный Блок

Шт. – Штуки

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Техническое задание.....	6
2. Анализ прототипов.....	8
3. Функциональная спецификация.....	10
3.1 Функции, обеспечиваемые системой.....	10
3.2 Особенности реализации.....	12
3.3 Функциональная схема системы управления.....	13
4. Проектирование аппаратной части.....	15
4.1 Промышленный контроллер.....	15
4.2 Преобразователи частоты.....	18
4.3 Инкрементные датчики скорости.....	20
4.4 Коммутационные коробки: CAN и Ethernet.....	20
4.5 Резервная релейная система управления.....	22
4.6 Шкаф устройств управления.....	22
5. Проектирование программной части.....	23
5.1 Основная программа (MAIN).....	25
5.2 Программа вычисления скоростей и координат.....	32
5.3 Программа для подсчета ресурса.....	33
5.4 Программа обнаружения сигналов аварийных ситуаций.....	34
5.5 Программа ведения истории аварийных событий.....	35
5.6 Программа работы со словами CANopen.....	36
5.7 ФБ расчета трапецеидальной диаграммы скорости.....	36

5.8 Структура для ведения истории событий.....	39
Заключение	40
Список использованных источников	42
Приложение 1. Таблица подключений	П1.1
Приложение 2. Руководство по настройке CANopen.....	П2.1
Приложение 3. Полные коды программ	П3.1
Приложение 4. Список переменных	П4.1
Приложение 5. Коды ошибок	П5.1

Введение

В ходе различных технологических процессов возникает необходимость перемещения грузов большой массы. Для решения данной задачи используют системы транспортировки, к которым можно отнести автопогрузчики, роллганги, краны и прочие транспортирующие машины. Во время процесса выработки электричества на ядерном реакторе возникает необходимость перемещения отработанного и нового топлива в пределах бассейна с тяжелой водой. В данных условиях очевидно удобство использования мостового крана: стержни перемещаются в пределах бассейна под тяжелой водой, что снижает радиоактивную угрозу для персонала, при этом топливо можно перемещать в любую точку рабочей зоны.

Мостовой кран – транспортирующее устройство, представляющее собой конструкцию, закрепляющуюся, как правило, на несущих стенах помещения и позволяющую перемещать грузы по трем осям. К основным преимуществам данных машин можно отнести высокую грузоподъемность (до 600 т), устойчивость к температурным перепадам (обычно от -40 до +40°C), отсутствие необходимости обустройства широких проходов для передвижения, доступ практически к любой точке помещения. На рисунке 0.1 представлено изображение мостового крана с захватным механизмом.



Рис. 0.1. Мостовой кран с захватным механизмом

Важной задачей на опасном производстве (к какому относится и работа на ядерном реакторе) является снижение риска для персонала. Автоматизация процессов способна решить данную задачу, следовательно, ее можно считать одним из приоритетных направлений в условиях производства.

Настоящая работа посвящена составлению универсального проекта для мостовых кранов, реализованного на основе линейки новых контроллеров Modicon от Schneider-Electric. Программной средой разработки для данных контроллеров является SoMachine. SoMachine позволяет объединить в одном проекте программирование нескольких контроллеров и различных устройств автоматизации (преобразователи частоты, модули удаленного ввода-вывода), а также создавать операторские экраны, связанные с общей программой (общая область переменных).

Реализация данного проекта позволит в дальнейшем достаточно быстро перестраиваться под конкретную задачу, что упростит проектирование и сократит затраты времени.

Пояснительная записка имеет следующую структуру: в первой главе ставится техническое задание, на основе которого реализуется проект. Во второй главе анализируются известные решения в области управления краном. Третья глава представляет собой функциональную спецификацию, формулирующую и описывающую функции, выполняемые системой управления, особенности их реализации. В четвертой главе приводится проектирование аппаратной части, представляющее собой разработку таблицы подключений и описание-обоснование основного оборудования. В пятой главе описывается программная реализация проекта: алгоритмы и функции.

1. Техническое задание

Разработать систему управления мостовым краном, обеспечивающую перемещение по трем осям:

- Ось X – перемещение пролета крана;
- Ось Y – перемещение тележки;
- Ось Z – перемещение захвата механизма подъема.

Кран должен быть оснащен устройством, предохраняющим его от перегрузки.

Управление краном осуществляется с подвесного пульта, с пульта радиоуправления, а также с панели оператора.

С целью обеспечения безаварийной работы, должны быть предусмотрены блокировки и устройства, обеспечивающие:

- Исключение одновременного перемещения по разным осям;
- Исключение работы всех механизмов при выходе на галерею крана обслуживающего персонала;
- Контроль выхода за пределы рабочей зоны по всем трем осям;

В цепях управления краном предусмотреть запрет работы, при входе другого крана в зону блокировок.

Должны обеспечиваться три режима управления краном:

- Командный с заданием дискретной скорости (подвесной пульт, пульт радиоуправления, панель);
- Командный с заданием аналоговой скорости (панель);
- Автоматизированный по заданным координатам (панель).

Аппаратная часть системы управления должна включать в себя:

- Промышленный контроллер.
- Преобразователи частоты.
- Инкрементные датчики скорости.
- Датчики температуры для двигателей, тормозных резисторов и внутреннего пространства шкафа управления.
- Датчики приближения (путевые переключатели): для аварийных зон и для реперных точек.
- Концевые выключатели калиток входа на мост крана.
- Коммутационные элементы (коммутационная коробка шины CAN, и для сети Ethernet).
- Резервную релейную систему управления.
- Аварийную индикацию (сигнальные лампы, сирены).
- Панель оператора.

2. Анализ прототипов

Основной целью настоящей работы, как сказано во введении, является создание универсального проекта для управления мостовым краном. В частности, реализуется проект специального крана для работы в условиях опасного производства.

Для успешной реализации системы, необходимо проанализировать прототипы и выявить их недостатки, которые следует по возможности устранить, и достоинства, которые есть смысл использовать. Общими чертами всех подобных решений можно считать защиты от выхода за пределы рабочей зоны, систему весоограничения, индикаторы аварийных ситуаций. От системы к системе разнится способ управления: командный (с помощью пульта), автоматизированный (автоматический переход по заданным оператором координатам) и автоматический (выполнение некоторого заранее заданного алгоритма, например, разгрузки автомобиля, поиска предметов по индексам на складе).

За основу настоящей работы будет взят проект системы управления мостовым краном, реализованный ранее. Однако же стоит отметить несколько отличий от упомянутой системы, которыми должен обладать универсальный проект:

- Возможность выбора различных способов управления. В реализованном ранее проекте использовался только командный способ (управление с подвесного пульта и по радиоканалу). В настоящем проекте дополнительно реализуется автоматизированный способ управления с возможностью позиционирования по заданным координатам и функцией демпфирования колебаний груза.
- Наличие реперных точек. Важным моментом автоматического перемещения крана является точный расчет его текущего положения. Для снижения ошибки и определения базовой точки перед началом

перемещения устанавливаются датчики положения (механические или электромагнитные) с известными координатами, что позволяет обнулять ошибку вычисления положения при прохождении таких опорных точек.

- Способ управления преобразователем частоты. В настоящем проекте реализуется два автоматизированных способа (с возможностью переключения между ними): аналоговый, при котором скорость задается с помощью аналогового вывода контроллера, и с использованием протокола CANopen, при котором уставка скорости передается по шине CAN. Также реализуется, как и в предыдущем проекте, ручное командное управление, с помощью подключения промышленного контроллера к дискретным входам преобразователя частоты и использования предустановленных темпов разгона.
- Полный контроль ПЛК над системой. В реализованном ранее проекте различные индикаторы подключались к системе релейного управления, а контроллер осуществлял лишь управление преобразователем частоты с небольшим числом заведенных датчиков диагностики системы. Оптимальным способом представляется подключение всех датчиков и индикаторов к контроллеру, что позволит более эффективно проводить диагностику системы и вести более полную историю событий, упростит отладку, а также позволит более эффективно управлять системой.

3. Функциональная спецификация

3.1 Функции, обеспечиваемые системой

- 1) Преобразователи частоты должны обеспечивать управление работой двигателей. ПЧ должны поддерживать 3 режима работы: дискретный, аналоговый, по протоколу CANopen.
- 2) Опорные датчики приближения должны обеспечивать обнуление ошибки вычисления координаты при срабатывании.
- 3) Концевые выключатели калиток входа на мост крана служат для определения наличия людей на мосту крана, что служит сигналом к запрету движения по любой оси.
- 4) Резервная релейная система управления предназначена для осуществления базового набора функций при выходе из строя контроллера.
- 5) Переключение на резервную релейную систему управления осуществляется ручным способом с помощью тумблера.
- 6) Аварийная индикация должна оповещать персонал о наличии опасной ситуации. Поэтому необходимо предусмотреть дублирование особо критических случаев световой и звуковой сигнализацией для более надежного оповещения.
- 7) Шкаф управления должен быть защищен от воздействия радиации.
- 8) Программная часть системы управления должна обеспечивать следующие виды проверок и защит:
 - a. Защита от выхода за пределы рабочей зоны. При этом, предусматривается два уровня датчиков: первые являются аварийными, а вторые – критическими.
 - b. Защита от превышения скорости осуществляется с помощью инкрементных оптических датчиков, подключаемых к высокоскоростным счетным входам контроллера.
 - c. Защита от одновременного движения по разным осям.

- d. Защита от перемещения крана по любой оси при наличии людей на пролете моста. Признаками наличия людей являются открытые калитки входа на мост.
 - e. Запрет движения при перегреве двигателя и/или тормозного резистора.
 - f. Контроль разжатия тормозов при начале движения. Предусматривается некоторое время на отпускание тормозов, по истечении которого, при неудачном снятии тормоза, запрещается дальнейшее движение.
 - g. Защита от поднятия груза при срабатывании системы ограничения
 - h. Защита от опускания груза при появлении сигнала «Ослабление каната»
 - i. Защита от перемещения крана при наличии другого в зоне блокировок.
- 9) Контроллер должен постоянно вычислять текущее положение крана и выдавать сигнал на соответствующий выход при нахождении крана в зоне блокировок.
- 10) Контроллер должен обеспечивать ведение истории при обрыве связи с панелью. При этом необходимо составить список кодов возможных ошибок и описать пути их устранения.
- 11) Контроллер должен осуществлять подсчет ресурса работы двигателей для обеспечения своевременной замены. Также необходима реализация числа срабатываний системы весоограничения.
- 12) Контроллер должен обеспечивать связь с преобразователями частоты для получения актуальных сведений о системе (выходной ток преобразователей, скорость двигателя), а также для осуществления управления (передача уставок скорости).

- 13) Управление обеспечивается тремя способами:
 - a. Командным способом с помощью подвесного пульта или системы РАДУК путем задания на дискретные входы ПЧ сигналов о текущем направлении движения и требуемой скорости (одна из трех).
 - b. Командным способ с панели путем задания требуемого направления движения и задания аналогового значения скорости.
 - c. Автоматизированным способом путем задания требуемых координат с помощью операторской панели.
- 14) При автоматизированном способе управления краном необходимо предусмотреть систему демпфирования колебаний груза с запретом на опускание при срабатывании датчика наличия ускорения (раскачивания груза).
- 15) Необходимо также реализовать функцию синхронизации при подаче питания на контроллер.
- 16) Способ передачи уставки подлежит выбору и может осуществляться:
 - a. С помощью аналогового входа ПЧ.
 - b. С помощью протокола CANopen.

3.2 Особенности реализации

- 1) Датчики приближения должны быть механическими, перекидного типа.
- 2) Опорные датчики устанавливаются через равное расстояние.
- 3) Опорные датчики каждой оси подключаются к отдельному модулю для упрощения вычисления текущей зоны нахождения крана.
- 4) Для вычисления координат следует использовать инкрементный датчик скорости.
- 5) ПЛК должен обладать возможностью простого добавления модулей ввода-вывода по мере улучшения системы и добавления новых функций.
- 6) РРСУ должна обеспечивать:
 - a. Командное управление перемещениями крана.

- b. Различные виды защиты, одинаковые и для контроллера, за исключением тех, которые связаны с различными вычислениями (защита от превышения скорости, вычисление положения).
- 7) При выходе крана за критическую зону отключается любое управление с ПЛК, а перевод в рабочую зону осуществляется рукоятками ручного управления.
 - 8) Реализуется запрет передачи дискретной уставки скорости при передаче ее по аналоговому каналу.
 - 9) Синхронизация производится с помощью определения текущей области положения крана по опорным датчикам. Движение в сторону нулевого осуществляется на второй скорости.
 - 10) При использовании задания скорости по шине CAN необходимо предусмотреть возможность имитации задания скорости по дискретным выходам, чтобы со стороны оператора работа с разным способом передачи уставки не отличалась.
 - 11) Демпфирование колебаний осуществляется пассивным способом на основе трапецеидальной диаграммы скорости.
 - 12) Определение наличия колебаний груза реализуется путем вычисления их амплитуды с помощью лазерного дальномера.

3.3 Функциональная схема системы управления

На рисунке 3.3.1 представлена функциональная схема системы управления.

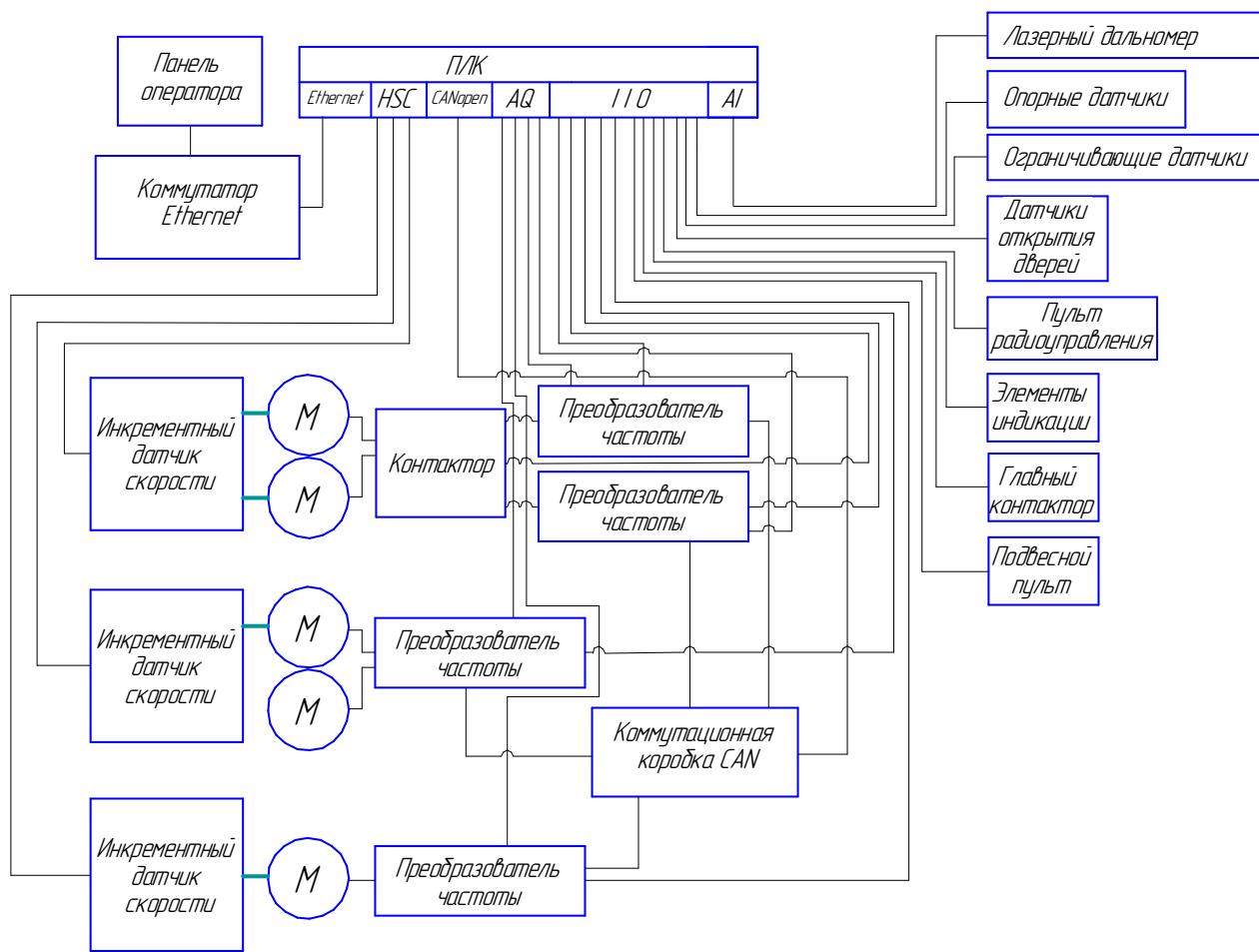


Рис. 3.3.1. Функциональная схема системы управления

4. Проектирование аппаратной части

Задачи, поставленные перед аппаратной частью, сформулированы в пунктах 1-7 функциональной спецификации. Технико-экономическое обоснование оборудования выполнило КБ ТяжМаш, поэтому в данной главе будут представлены лишь наиболее значимые пункты обоснования, а также особенности сопряжения разного оборудования с ПЛК. Имеет смысл, для большей наглядности, разбить эту главу на подпункты.

4.1 Промышленный контроллер

В данном проекте было решено использовать промышленный контроллер Modicon M258 от фирмы Schneider-Electric. Данный контроллер имеет модульную структуру, позволяющую увеличивать число воодов и выводов по мере необходимости [1]. Модули имеют пружинные клеммы, что облегчает монтаж и снижает риск разрыва контактного соединения из-за вибрации, что актуально по причине нахождения шкафа управления на пролете движущегося моста крана. Также стоит отметить возможность наследования основных функций (блокировки, командное управление) из ранее реализованного проекта. Эти пункты, в основном, и определяют выбор данного ПЛК. На рисунке 4.1.1 представлено изображение ПЛК.



Рис. 4.1.1. Изображение ПЛК Modicon M258

Таблица соединений приведена в приложении 1 на электронном носителе. Из этой таблицы видно, что в проекте используется:

80 дискретных входов, что с 40% запасом даст $80 \cdot 1,4 = 112$;

29 дискретных выходов, что с 40% запасом даст $29 \cdot 1,4 = 40,6 \approx 41$;

5 релейных выходов, что с 40% запасом даст $5 \cdot 1,4 = 7$;

1 аналоговый вход, что с 40% запасом и округлением вверх даст $1 \cdot 1,4 = 1,4 \approx 2$;

3 аналоговых входа, что с 40% запасом даст $3 \cdot 1,4 = 4,2 \approx 4$.

Тогда можно составить перечень модулей, необходимых в проекте (см.табл. 4.1.1).

Таблица 4.1.1.

Перечень модулей ПЛК.

№	Название в проекте	Тип	Название по каталогу	Число контактов
1	hscX_count	Высокоскоростной счетчик	DM72F0	10
2	hscY_count	Высокоскоростной счетчик	DM72F1	10
3	Module_1	Модуль дискретных входов	DI12DE	12
4	Module_2	Модуль дискретных выходов	DO12TE	12
5	Module_3	Высокоскоростной счетчик	TM5SE1IC02505	8
6	Module_4	Модуль дискретных входов	TM5SDI16D	16
7	Module_5	Модуль дискретных входов	TM5SDI16D	16
8	Module_6	Модуль дискретных входов	TM5SDI16D	16
9	Module_7	Модуль дискретных входов	TM5SDI16D	16
10	Module_8	Модуль дискретных входов	TM5SDI16D	16
11	Sensors_X	Модуль дискретных входов	TM5SDI12D	12
12	Sensors_Y	Модуль дискретных входов	TM5SDI4D	4
13	Sensors_Z	Модуль дискретных входов	TM5SDI4D	4
14	Power_Module	Модуль распределения питания	TM5SPS2	2

№	Название в проекте	Тип	Название по каталогу	Число контактов
15	Module_9	Модуль дискретных выходов	TM5SDO16T	16
16	Module_10	Модуль дискретных выходов	TM5SDO12T	12
17	Module_11	Релейный модуль дискретных выходов	TM5SDO4R	4
18	Module_12	Релейный модуль дискретных выходов	TM5SDO4R	4
19	Module_13	Модуль аналогового вывода	TM5SAO4H	4
20	Module_14	Модуль аналогового вывода	TM5SAO2H	2
21	Module_15	Модуль аналогового ввода	TM5SAI2H	2

В сборке присутствуют модули с транзисторными входами, транзисторными выходами, с релейными выходами, а также аналогового ввода и аналогового вывода. В сборке также присутствует модуль быстрого счета (нормальная квадратура X4) в дополнение к двум уже встроенным в контроллер. Модули с транзисторными входами предназначены для подключения датчиков, различных органов управления, контактов реле для обеспечения получения наиболее полной информации о системе. Модули с транзисторными выходами подключаются к различным индикаторным устройствам, а также к терминальным входам ПЧ. Модули с релейными выходами предназначены для управления контакторами силовых цепей. Они обеспечивают автоматическое переключение между ПЧ и двигателями механизма подъема, а также включение и отключение главного контактора. К модулю аналогового ввода подключается дальномер, предназначенный для определения колебаний груза. К модулям аналогового вывода подключены аналоговые входы ПЧ для задания уставки скорости.

При добавлении модулей необходимо учитывать потребляемый ими ток. Для обеспечения достаточного питания ставятся дополнительные модули распределения питания. В данной сборке присутствует лишь один такой модуль, однако стоит отметить, что в более крупных проектах (автоматизация цеха, завода) может быть большее количество модулей ввода/вывода, а соответственно больше модулей распределения питания.

Также данный контроллер оснащен последовательным портом, работающим с протоколом CANopen [1], что позволяет связать его с преобразователями частоты. В этом случае возможно получение актуальных данных о процессе (скорость двигателей, выходной ток ПЧ).

Руководство по настройке CANopen на ПЛК (на основе [3]) и на ПЧ (на основе [4]) приведено в приложении 2 на электронном носителе.

4.2 Преобразователи частоты

Преобразователи частоты предназначены для управления двигателями: поддержания постоянной скорости вращения, плавного пуска и остановки. В данном проекте решено использовать ПЧ фирмы Sew-Eurodrive: MDXB-61. Данные ПЧ оснащены последовательным портом, который можно сконфигурировать как CANopen [4,5], что является важной частью данного проекта, так как именно по этому протоколу передается уставка скорости в режиме автоматизированного управления, а также происходит передача данных о процессе: выходной ток ПЧ, скорость двигателя.

Схема для подключения электронной части [5] приведена на рисунке 4.2.1. Руководствуясь этой схемой, а также таблицей соединений из приложения 1, можно произвести сопряжение ПЧ и ПЛК.

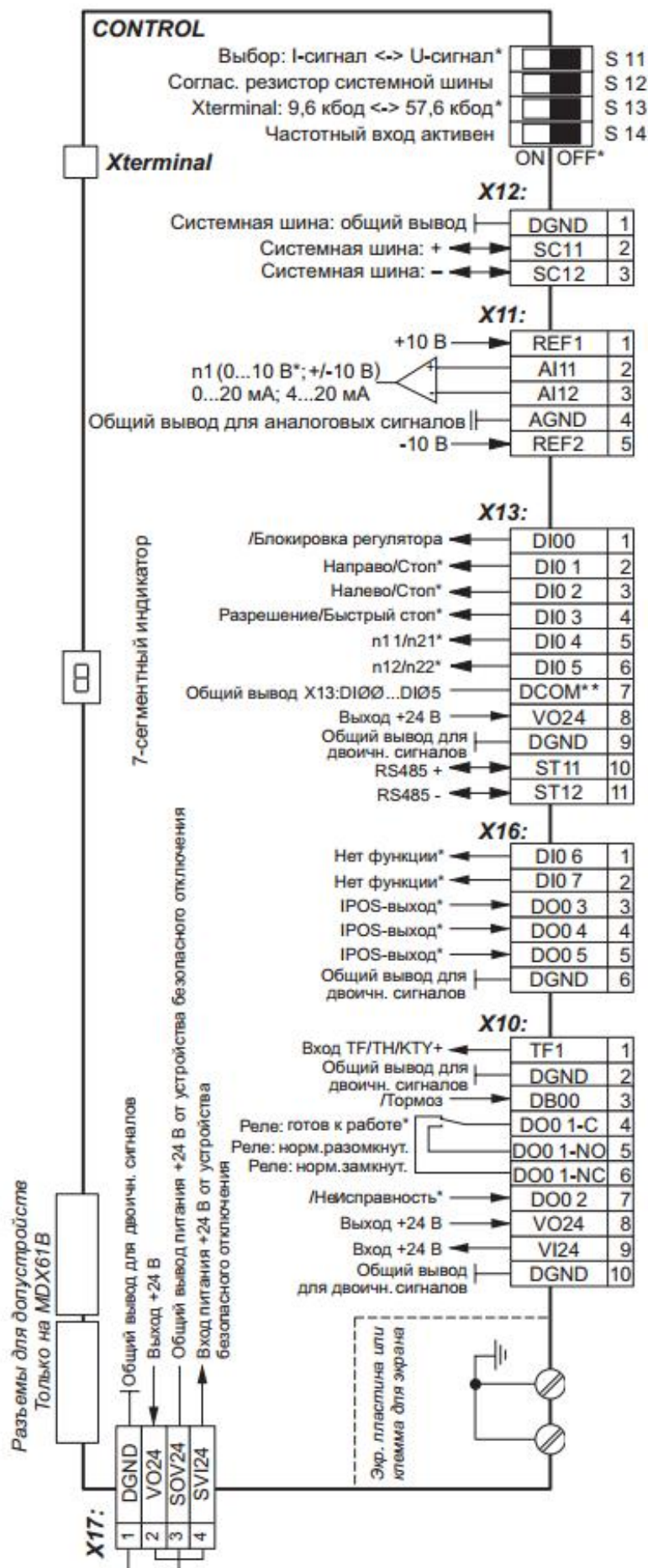


Рис. 4.2.1. Схема для подключения электронной части ПЧ

4.3 Инкрементные датчики скорости

Инкрементные датчики скорости – электротехнические устройства, предназначенные для измерения скорости по частоте и порядку следования импульсов. В данном проекте используются датчики ЛИР158А-1-Т-001000-(10...30)-ПИ-5-0. Схему подключения одного из данных датчиков к контроллеру можно увидеть на рисунке 4.3.1.

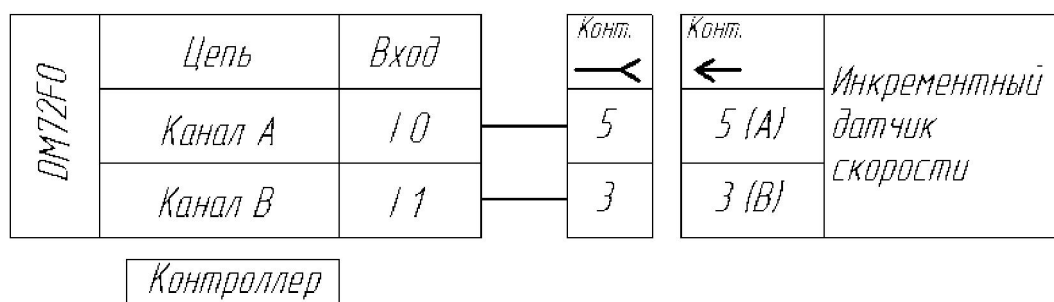


Рис. 4.3.1. Схема подключения инкрементного датчика к ПЛК.

В данном проекте установлено по одному датчику на каждую степень свободы крана, что позволяет вычислять координаты текущего местоположения захвата крана в декартовой системе координат. Данная информация необходима для обеспечения автоматического движения крана.

4.4 Коммутационные коробки: CAN и Ethernet

Для обеспечения надежного подключения всех устройств шины CAN используется коммутационная коробка TSXCANTDM4 с 4-мя портами D-SUB9. Она имеет пружинные клеммы для подключения мастера (ПЛК) и 4 разъема D-SUB9 для подключения клиентов (ПЧ). Схема подключения ПЛК и ПЧ к коробке CAN приведена на рисунке 4.4.1.

Коммутатор Ethernet обеспечивает соединение ПЛК, Панели оператора и наладочного компьютера в сеть Ethernet. Соединение производится прямым кабелем RJ-45 (витая пара).

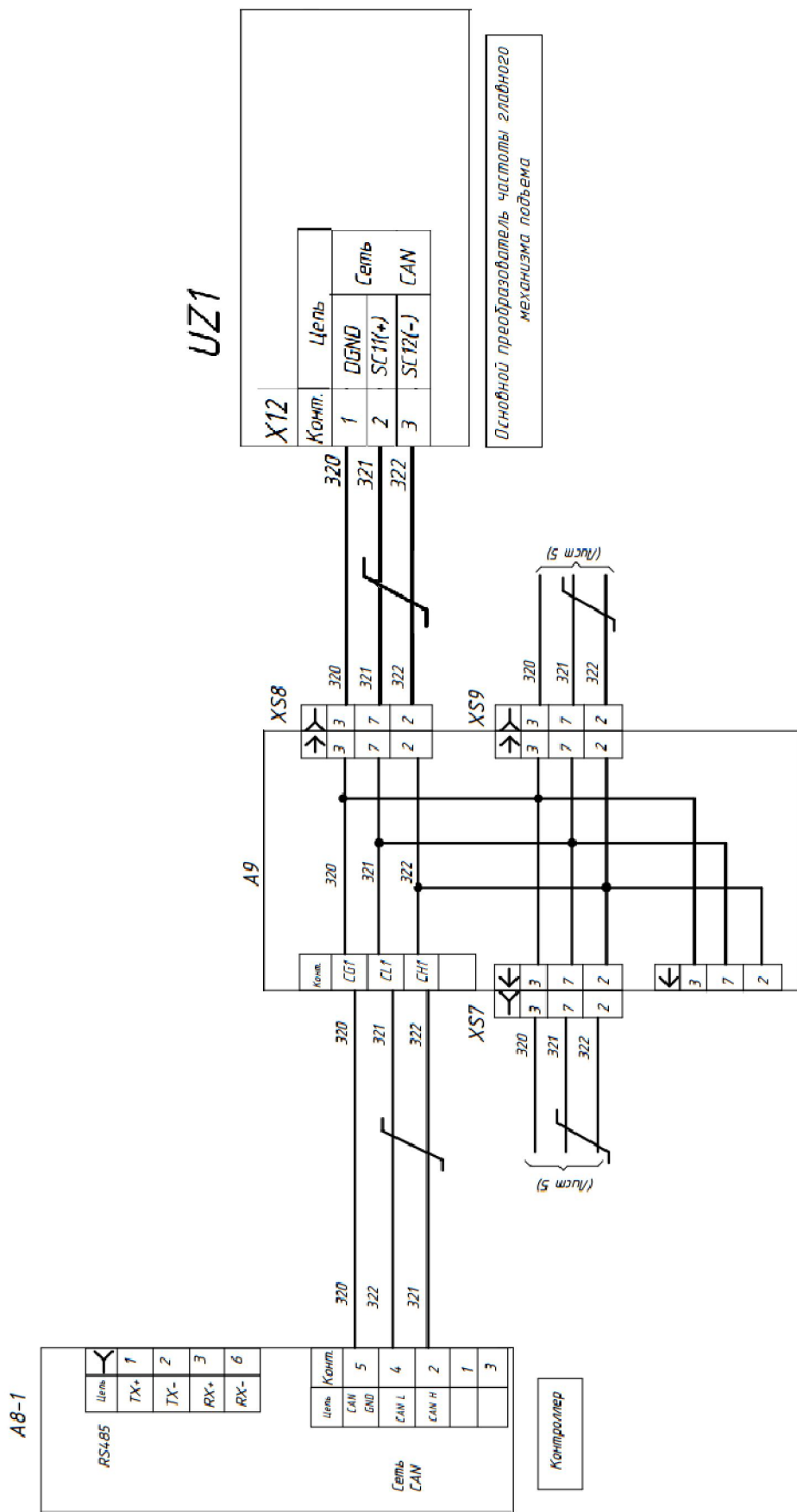


Рис. 4.4.1. Схема подключения ПЛК и ПЧ к коммутационной коробке CAN.

4.5 Резервная релейная система управления

Данная РРСУ предназначена для управления в нештатных ситуациях. Она обеспечивает командное управление перемещением крана (с подвесного пульта и по радиоканалу), а также базовые проверки, влияющие на работоспособность крана (защиты от выхода за пределы рабочей зоны, защиты от перегрузки, перегрева и так далее). Большинство этих проверок аналогичны соответствующим проверкам в программных модулях, соответственно и описаны будут там более подробно. Переключение между контроллером и РРСУ осуществляется вручную с помощью тумблера.

Принципиальная электрическая схема разрабатывается КБ ТяжМаш.

4.6 Шкаф устройств управления

Важной задачей при работе в условиях повышенного радиационного фона является защита электронных устройств от воздействия радиации. Можно считать, что воздействие радиации на оборудование происходит строго снизу, поэтому на дно шкафа управления крепится свинцовая плита, способная экранировать соответствующее излучение. Толщина плиты составляет 80 мм.

5. Проектирование программной части

Функции, которые необходимо реализовать в программной части проекта представлены в пунктах 8-15 функциональной спецификации.

Программная часть делится на несколько частей:

- 1) Основная управляющая программа на языке SFC.
- 2) Программа для вычисления скоростей и координат на языке CFC.
- 3) Программа для вычисления ресурса двигателей на языке CFC.
- 4) Программа для детектирования фронтов сигналов с датчиков и панели на языке LD.
- 5) Программа для ведения истории событий на языке ST.
- 6) Программа присвоения слов, передающихся по протоколу CANopen промежуточным переменным.
- 7) Функциональный блок расчета перемещения с учетом демпфирования на языке ST.

Навигатор проекта приведен на рисунке 5.1. Полный текст программ и функциональных блоков приведен в приложении 3 на электронном носителе. Список переменных приведен в приложении 4 на электронном носителе.

Здесь будем описывать различные аспекты и особенности реализации, лишь ссылаясь на полные тексты в приложении. Комментарии к программам присутствуют.

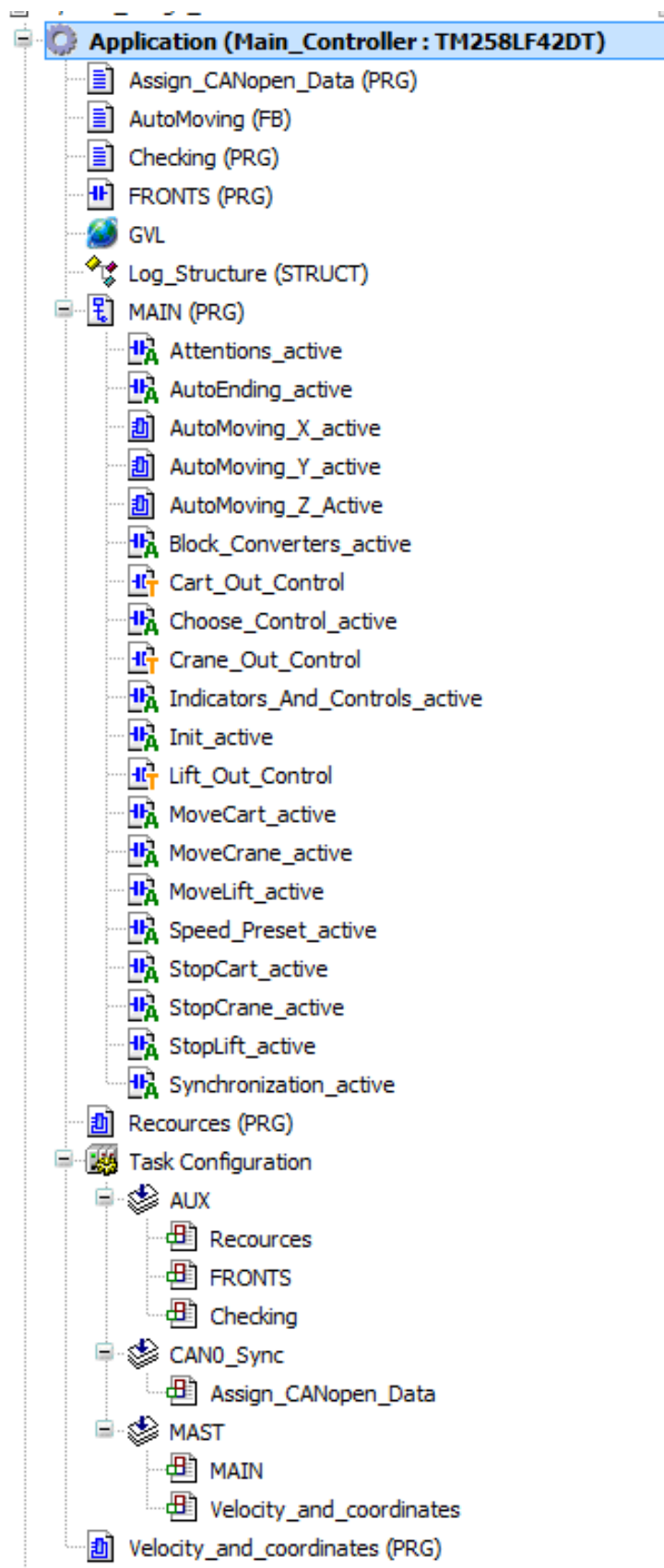


Рис. 5.0.1. Древо приложений проекта.

5.1 Основная программа (MAIN)

Описание программной части проекта следует начать с основной программы, которая реализуется все основные задания на движение, проверки и диагностики.

Граф приведен на рисунке 5.1.1.

Данная программа состоит из одного инициализирующего действия, семнадцати действий, трех сложных условий перехода и шестнадцати простых.

Действие **Init** является инициализирующим. В нем осуществляется выбор двигателя и ПЧ механизма подъема в текущем цикле работы. Это необходимо для уменьшения простоя оборудования и равномерного его износа. Двигатели выбираются по ресурсу работы, а преобразователи частоты – по числу включений. Также здесь производится блокировка всех ПЧ перед началом движения и снятие всех заданий на движение. Данное действие необходимо для защиты от непредвиденного движения при нештатном отключении ПЛК. Далее производятся основные проверки (закрыты калитки входа на мост, вставлен ключ, вынуты рукоятки ручного перемещения) и включается главный контактор. Затем производится проверка модулей и подсистем контроллера, датчиков на непредвиденное срабатывание, а также готовности всех ПЧ. После чего выставляется задание на синхронизацию и сигнал готовности СУ к работе.

По сигналу готовности СУ к работе (`bControl_System_Ready`) производится выход из инициализирующего шага.

После этого условия можно увидеть разветвление на действия, которые будут выполняться параллельно.

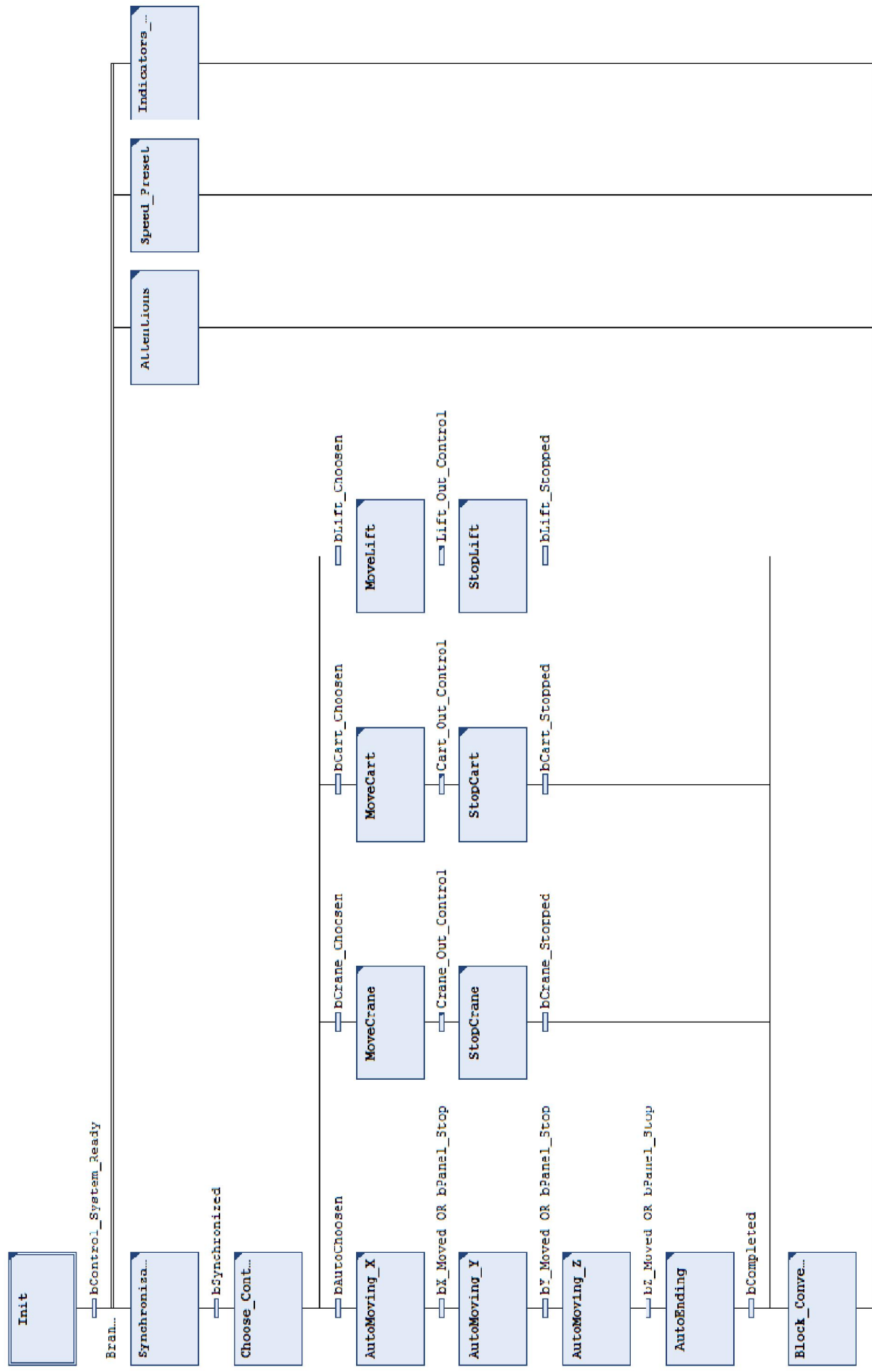


Рис. 5.1.1. Граф программы MAIN.

Действие **Attentions** предназначено для проведения проверок во время работы.

Данное действие можно разделить на 4 части:

- Основные проверки и управление главным контактором;
- Проверки при перемещении крана;
- Проверки при перемещении тележки;
- Проверки при перемещении захвата.

Основные проверки предназначены для запрета перемещения при открытии дверей входа на мост, въезде другого крана в зону блокировок, отключении по каким-либо причинам главного контактора, отключении тормозов, отсутствии ключа. Также осуществляется отключение главного контактора, если это по каким-либо причинам не произошло в аварийной ситуации. Производится проверка на въезд крана в зону блокировок путем сравнения текущей координаты по оси X (перемещение моста крана) и координаты зоны блокировок.

Проверки при перемещении осуществляются практически одинаково для всех осей. Вначале производится проверка на разжатие тормозов при начале перемещения. Если в установленный срок тормоз не разжался, то отменяется задание на движение и устанавливается флаг ошибки тормоза. Далее производятся установки флагов ограничивающих датчиков. Это необходимо для систем, в которых имеются электромагнитные или нажимные датчики приближения, а как отмечалось во введении, проект предназначен для легкого масштабирования и конфигурирования под разные системы. Далее производятся различные проверки на отсутствие ошибок ПЧ, отсутствие перегрева двигателя и тормозного резистора, отсутствие рукоятки ручного перемещения. Стоит отметить, что для механизма подъема здесь же производятся проверки на подключение силовых цепей ПЧ к двигателям.

Далее все перечисленные проверки, вместе с флагами ограничения рабочей зоны компонуется в сигнал разрешения движения по данной оси, в данном направлении. У механизма подъема здесь также присутствуют проверки на ослабление каната, перегрузку и колебания.

Отдельно стоит отметить проверку на наличие колебаний груза. Она осуществляется с помощью лазерного дальномера по следующему принципу: В начале периода измерений запоминается величина с дальномера, в конце периода измерения текущая величина расстояния вычитается из запомненной, вычисляется модуль разности и сравнивается с некоторой предельно допустимой величиной амплитуды колебаний.

Параллельно *Attentions* выполняется действие **Speed_Preset**. Данное действие предназначено для упрощения задания уставки скорости. Здесь производятся проверки на режим задания уставки, а также на способ управления. Так при подаче логической единицы на вход выбора способа передачи уставки, передача будет производиться по протоколу CANopen, а при логическом нуле – по аналоговому каналу. Соответственно, уставка передается только в режиме аналогового задания скорости или при автоматизированном управлении. Также в этом действии находится имитация дискретного задания скорости при управлении по шине CAN. В остальной программе вместо обращения к конкретным физическим выходам используются промежуточные переменные. В этом действии анализируется выбранный режим передачи уставки (терминальный/по шине CAN) и производится либо присвоение задания скорости конкретным выходам, либо выбор константной уставки и передача ее по шине CAN на ПЧ.

Следующим действием является **Indicators_And_Controls**. Здесь производится управление захватом (по кнопке с пульта или панели), переключение на резервный ПЧ при наличии неисправности основного, а также переключение между двигателями. Причиной переключения ПЧ

является либо перегрев тормозного резистора, либо ошибка ПЧ. Причиной переключения между двигателями является перегрев. Далее производится включение светодиодных индикаторов: сигнализирующих о выходе за пределы рабочей зоны и индикатора наличия груза в захвате. Также при выходе за критические датчики срабатывает звуковая сигнализация.

Теперь рассмотрим основную ветвь графа.

Действие **Synchronization** предназначено для установки крана в базовую точку при включении. По опорным датчикам определяется текущее местоположение и производится движение в сторону опорного. Данное действие аналогично по всем трем осям. После успешного завершения перемещения устанавливается флаг `bSynchronized`, сигнализирующий об окончании синхронизации и позволяющий перейти к следующему действию.

В **Choose_Control** производится проверка на запрос управления с панели, на установку всех рукояток (кнопок) пульта в нулевое положение. Далее производятся проверки отдельно для каждой оси, однако эти проверки схожи: проверка на отсутствие перемещения по другим осям, на отсутствие рукояток ручного управления, на отсутствие другого крана в зоне блокировок, на режим управления (командный, автоматизированный), наличие задания на движение по данной оси, на нулевые положения рукояток управления. Далее производится проверка на выбор автоматизированного режима управления.

После этого действия производится ветвление в зависимости от выбранной оси перемещения в командном режиме или от выбора автоматизированного типа управления (4 ветви).

Ветви командного режима аналогичны по структуре (благодаря стандартизации флагов проверок), поэтому есть смысл ограничиться описанием лишь одной из них.

Ветвь управления тележкой начинается с простого перехода по переменной `bCart_Choosen`, которая устанавливается в логическую единицу в действии `Choose_Control`. Далее находится действие **MoveCart**, которое осуществляет задание на движение для ПЧ тележки.

В этом действии в первых цепях производится выбор скорости и направления в зависимости от нажатых кнопок, отклоненных ручек на пультах или панели. Также производятся проверки на флаги разрешения перемещения по данной оси в данном направлении (например, влево). Данные флаги были рассмотрены в действии `Attentions`. Например, при необходимости задания с пульта на движение влево на второй скорости производится проверка на отсутствие управления с панели, на задание направления влево и на высокий уровень `diCart_Second_Speed`, далее производится проверка `bCart_Attentions_Left` на разрешение движения тележки влево, и устанавливается `bCart_Left_Second_Speed`.

После всех этих проверок производится арбитраж сигналов и разблокировка ПЧ. При арбитраже сигналов производится управление заданиями на движение. Соответственно проверяются сигналы, которые могут установить данную переменную в логическую единицу и производится их логическое ИЛИ. Здесь же производится задание аналоговой уставки скорости с панели.

После этого действия идет сложный переход **Cart_Out_Control**, который проверяет отсутствие задания на движения для тележки. И позволяет перейти к действию **StopCart**.

Данное действие осуществляет снятие задания на движение по данной оси, присвоение нулевой аналоговой уставки скорости, а также ожидание остановки тележки (проверка на непревышение текущей скорости некоторой предзаданной, величину которой можно считать равной нулю). После остановки устанавливается флаг `bCart_Stopped`.

Рассмотрим теперь ветвь автоматизированного управления. Переход на нее осуществляется по переменной `bAutoChosen`, которая устанавливается в действии `Choose_Control`.

Действия `AutoMoving_X`, `AutoMoving_Y` и `AutoMoving_Z` похожи между собой, поэтому ограничимся описанием `AutoMoving_X`.

Данное действие предназначено для перемещения по оси *X* до достижения некоторой предзаданной координаты. При этом, осуществляется расчет трапецеидальной диаграммы скорости чтобы предотвратить колебания. В данном действии можно увидеть присвоение различных величин входам функционального блока расчета диаграммы скорости. Здесь учитываются: текущая координата, конечная координата, максимальное ускорение, максимальная скорости, максимальные рывки при старте и остановке, малая скорость, а также малое расстояние, которое необходимо пройти на малой скорости. Здесь же задаются тактирующие импульсы для расчета линейно нарастающей скорости. Выходы Функционального блока присваиваются уставке скорости, переменной, содержащей текущий этап перемещения (для диагностики и отладки), флагу окончания переменной, а также здесь производится выбор направления движения. Пуск движения происходит при переходе в данное действие при условии выполнения проверок и разрешения движения по данной оси (из действия `Attentions`). По установке флага окончания перемещения производится выход из данного действия и переход в действие перемещения по следующей оси.

После окончания движения по оси *Z* производится переход в действие `AutoEnding`, в котором осуществляется снятие флагов наличия автоматического перемещения, а также ожидание остановки движения по всем осям. После чего устанавливается флаг `bCompleted`, и производится выход из данного действия.

Стоит отметить, что в этой цепи присутствует возможность экстренной остановки движения. Оно производится по сигналу `bPanel_Stop` с панели. По этому сигналу производится выход из любого действия автоматического перемещения и переход в действие **AutoEnding** в котором устанавливается флаг `bStopped`, сигнализирующий об экстренной остановке. Данный флаг учитывается при ведении истории.

Все четыре ветви перемещения сходятся на действии **Block_Converters**, который предназначен для блокировки всех ПЧ по окончании движения. Затем производится переход в начало графа.

5.2 Программа вычисления скоростей и координат

Далее рассмотрим программу **Velocity_and_coordinates**, предназначенную для вычисления скоростей и координат.

Эту программу можно условно разделить на три части: первые две схожи и предназначены для вычисления скорости и координаты по оси *X* и *Y*. Третья часть предназначена для вычисления скорости и координаты по оси *Z*. она отличается от предыдущих тем, что скорость по оси *Z* измеряется дополнительным модулем высокоскоростного счетчика.

В данной программе используется таймер с автоперезагрузкой и уставкой в 1 с. Он используется для дифференцирования по времени: по истечению одной секунды счетчик обнуляется, что позволяет в конце каждого периода счета получать число импульсов в секунду с учетом направления вращения. Умножая на определенный коэффициент (число импульсов на оборот, умноженное на 60) можно получить скорость в оборотах в минуту. Далее, путем прибавления скорости, деленной на 60 к координате в начале периода счета можно вычислить координату в конце периода.

Стоит отметить возможность определения превышения скорости на 30% выше заданной. Это необходимо для контроля целостности конструкции и исправности ПЧ и инкрементного датчика.

Также здесь присутствует возможность задания абсолютной координаты при прохождении через опорный датчик. Происходит это следующим образом: все датчики по определенной оси подключаются к своему отдельному модулю дискретного ввода. Затем считываются все входы сразу как регистр, с помощью логарифма по основанию 2 регистр преобразуется в номер датчика, после чего вычитается номер нулевого счетчика, производится домножение на расстояние между счетчиками и присваивается координата.

Вычисление скорости по оси X и Y производится с помощью функционального блока HSCMain_M258 [2]. Данный блок сопрягается с встроенными высокоскоростными счетчиками и позволяет производить счет в различных режимах. По оси Z скорость высчитывается с помощью дополнительного высокоскоростного счетчика. К нему не предусмотрено подключение функционального блока HSCMain_M258, так как он может считать только в одном режиме, однако, смысл функции подсчета скорости остается тем же.

5.3 Программа для подсчета ресурса

Далее рассмотрим программу **Resources**, позволяющую производить подсчет ресурса двигателей, числа срабатываний от перегрузки системы весоограничения, а также число циклов работы крана (от включения до выключения главного контактора).

Подсчет числа срабатываний системы весоограничения производится простым инкрементированием значения счетчика по переднему фронту сигнала перегрузки.

Число циклов работы вычисляется похожим образом, однако, с учетом переднего фронта, устанавливающего флаг. Далее по заднему фронту проверяется этот флаг, сбрасывается и инкрементируется счетчик.

Ресурс всех двигателей вычисляется одинаково: при начале движения, считывается дата и время, устанавливается флаг работы данного привода (нужен для панели). Затем, по заднему фронту окончания движения также считывается дата и время. Производится вычитание, перевод в секунды (чтобы не потерять точность) и добавление вычисленной величины к суммарному ресурсу данного двигателя. Двигатели крана работают совместно, поэтому ресурс считается одинаковым. У тележки один двигатель, а у механизма подъема вычисляется ресурс подключенного в данный момент двигателя.

5.4 Программа обнаружения сигналов аварийных ситуаций.

Рассмотрим теперь программу **FRONTS**.

Данная программа предназначена для упрощения работы с аварийными событиями. На языке LD просто реализовать детектирование фронтов, а на языке ST – ведение истории. Поэтому данная программа тесно связана с Checking.

Суть программы заключается в использовании дополнительных флагов, фронты которых стандартизированы (флаги всегда устанавливаются в логическую единицу при наступлении события, в то время как сами события характеризуются высоким или низким уровнем на входе, у переменной). Например, для обнаружения открытой двери: низкий уровень

на входе концевого выключателя двери говорит о том, что дверь открыта, тогда по низкому уровню на этом входе соответствующий флаг устанавливается в логическую единицу. Затем проверяется передний фронт флага, по которому срабатывает триггер, провоцирующий создание записи в программе Checking. По переднему фронту с датчика открытия двери (дверь закрылась) выполняется сброс флага.

Также в данной программе реализуется детектирование фронтов переменной проверки связи с панелью. Механизм проверки связи будет более подробно описан в следующем пункте.

5.5 Программа ведения истории аварийных событий

Для ведения истории событий предназначена программа **Checking**.

Данная программа также предназначена для зацикливания массива, в котором хранится история. Производится оно простой проверкой на максимальное значение индекса, после чего индексу присваивается значение 1.

Далее находится проверка связи с панелью. Она заключается в следующем: включается таймер с уставкой 300 мс и перезагрузкой по любому перепаду специальной булевой переменной. Панель постоянно инвертирует данную переменную. Если инверсии не произошло за указанное время (не было перепадов), то таймер устанавливает в логическую единицу переменную `bPanel_Alert`.

Далее вся программа выполняется только при потере связи с панелью. По триггеру из FRONTS выполняется считывание текущей даты и времени, запись даты и времени, а также кода ошибки (в зависимости от триггера и события) в массив истории, затем инкрементируется индекс. Список кодов ошибок приведен в приложении 5 на электронном носителе.

5.6 Программа работы со словами CANopen

Для перемещения данных между внутренними переменными и словами из CANopen предназначена программа **Assign_CANopen_Data**.

В данной программе для скорости, тока, уставки скорости и темпа разгона производится простое присвоение, а для кода ошибки – выделение старшего байта статусного слова ПЧ.

Стоит отметить, что присвоение данных для механизма подъема производится в зависимости от подключенного в данный момент ПЧ, так как есть смысл подключить шину CAN сразу ко всем ПЧ (для конфигурации).

5.7 ФБ расчета трапецеидальной диаграммы скорости

Функциональный блок **AutoMoving** предназначен для упрощения расчета трапецеидальной диаграммы скорости. Его изображение приведено на рисунке 5.7.1.

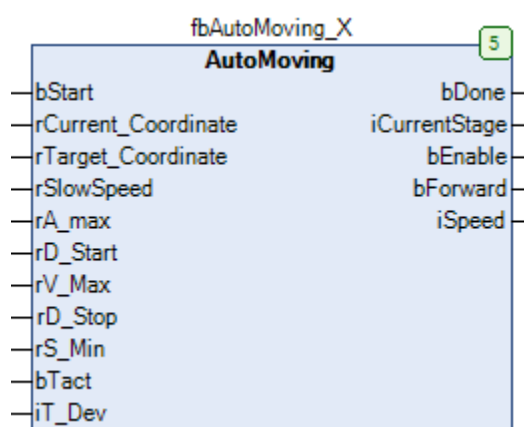


Рис. 5.7.1. Функциональный блок AutoMoving.

Данный блок написан на языке ST, так как на нем проще реализовывать математические операции.

Пассивный способ подавления колебаний подразумевает такую диаграмму скорости, при которой вторая производная скорости всегда меньше некоторого допустимого значения (всегда постоянна или ноль).

Стоит отметить, что существуют кроме способа трапецеидальной диаграммы к пассивным способам подавления колебаний относят также гармонический. Не стоит забывать и активные способы подавления колебаний. Однако он подразумевает перемежающийся режим с частыми реверсами и для него необходимо выбирать уже другие двигатели (иначе есть риск выхода двигателей из строя).

Таким образом, данная программа состоит из нескольких шагов. На нулевом шаге вычисляются величины расстояний и скоростей, то есть формируется общий вид диаграммы скорости, затем в каждом следующем шаге вычисляется уставка скорости, передаваемая на ПЧ. Перемещение делится на 7 этапов:

- 1) Разгон до максимального ускорения
- 2) Разгон с постоянным ускорением
- 3) Разгон до максимальной скорости
- 4) Движение с постоянной скоростью
- 5) Начало торможения
- 6) Торможение с постоянным ускорением
- 7) Торможение с ограничением по рывку

Диаграмма скорости представлена на рисунке 5.7.2. В данном случае, для примера, использовались следующие параметры:

$$v_{max} = 0.2 \frac{M}{c}; a_{max} = 0.15 \frac{M}{c^2}; R_{start} = 0.2 \frac{M}{c^3}; R_{stop} = 0.2 \frac{M}{c^3},$$

где v_{max} – максимальная скорость тележки;

a_{max} – максимальное ускорение тележки;

R_{start} – максимальный рывок при старте;

R_{stop} – максимальный рывок при остановке.

Стоит также отметить, что в программе действия производятся со скоростями, заданными в оборотах в минуту. Так как данное решение позволяет легко вычислять текущую скорость по данным инкрементного датчика, а также работать с ПЧ. При этом на панели организуется перевод в метры в минуту для большей наглядности.

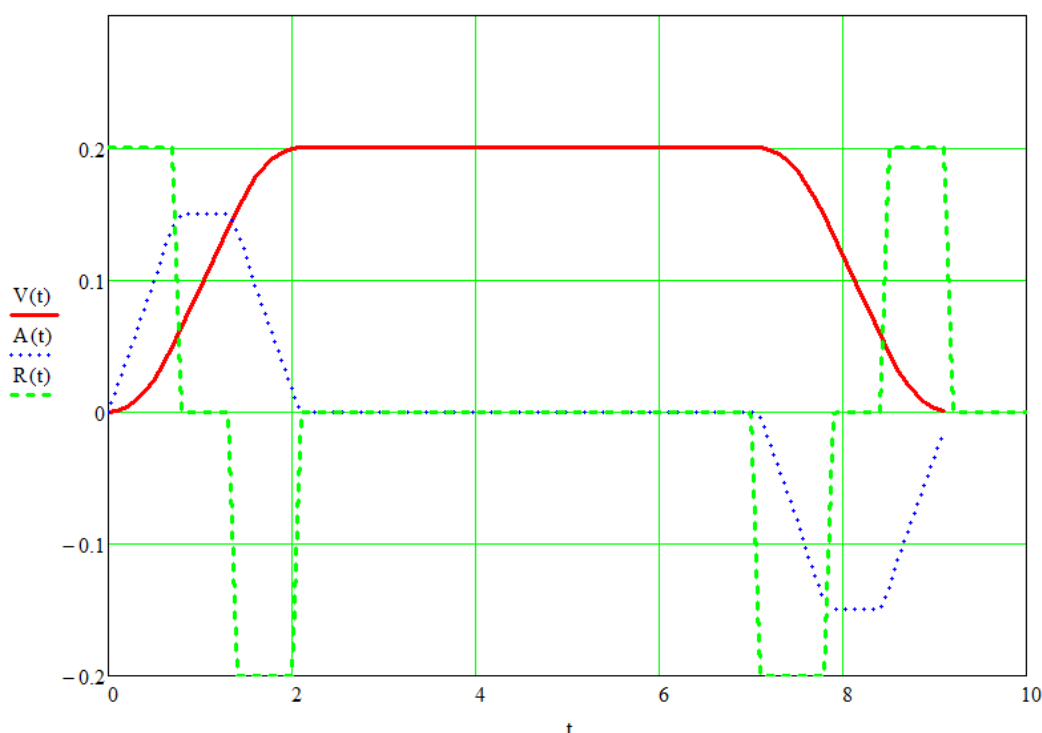


Рис. 5.7.2. Трапецеидальная диаграмма скорости для тележки.

Здесь $V(t)$ – скорость тележки;
 $A(t)$ – ускорение тележки;
 $R(t)$ – вторая производная по времени от скорости (рывок).

Переключение между этапами происходит по достижению нужной координаты. То есть производится сравнение координаты, вычисленной на нулевом шаге с координатой по данным датчика.

Все необходимые величины (максимальное ускорение, максимальная скорость, малая скорость, ограничения по рывкам) передаются на входы данного функционального блока.

При расчете этапов может получиться такая ситуация, что диаграмма скорости не укладывается в необходимый путь. В этом случае используется малая скорость, а диаграмма скорости не вычисляется.

5.8 Структура для ведения истории событий

Структура **Log_Structure** предназначена для упрощения выгрузки истории аварийных событий с контроллера. В данную структуру входит всего два поля (см.рисунок 5.8.1).

```

1  TYPE Log_Structure :
2  STRUCT
3      sDateTime: STRING; //Дата и время
4      uiError_Code: UINT; //Код ошибки
5  END_STRUCT
6  END_TYPE

```

Рис. 5.8.1. Структура Log_Structure.

В поле `sDateTime` хранится в строковом формате дата и время возникновения некоторой аварийной или предупредительной ситуации. В поле `uiError_Code` хранится код ошибки, характеризующий произошедшее событие.

Общий вид структуры представлен на рисунке 5.8.2.

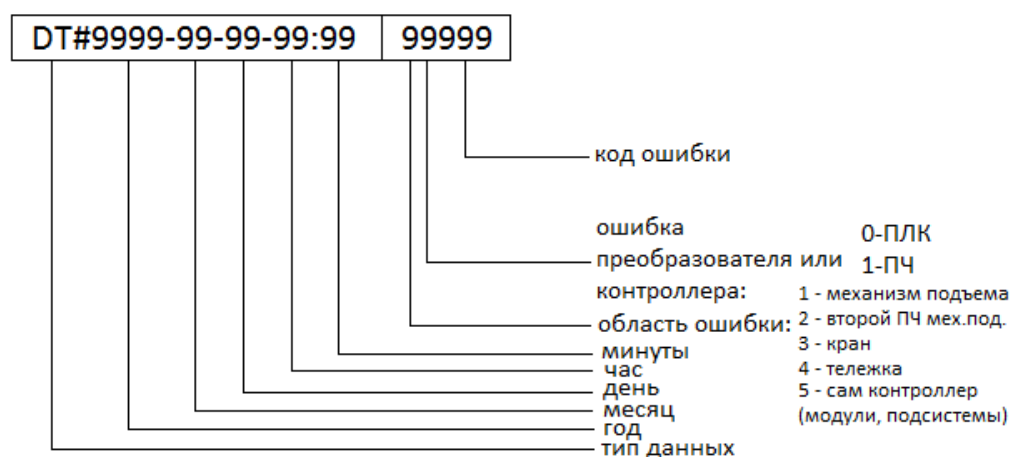


Рис. 5.8.2. Структура Log_Structure.

Заключение

Результатом данной работы стал универсальный проект управления мостовым краном. Настоящий проект легко масштабируется под различные конкретные условия: различные размеры рабочей области, различное количество датчиков, разные способы управления (терминальный, по шине). Также благодаря тому, что проект выполнен в среде SoMachine, он может быть легко перестроен под любой другой контроллер линейки Modicon, программируемый с помощью SoMachine Central (за исключением M221).

Согласно техническому заданию, представленному «КБ ТяжМаш», была произведена программная реализация проекта. В ходе его реализации были решены следующие проблемы:

- Учет опорных точек при вычислении координат.
- Выбор способа передачи уставки скорости с ПЛК на ПЧ.
- Реализация функции пассивного демпфирования колебаний груза.
- Реализация проверок во время работы крана, а также проверок при подаче питания.
- Работа с ПЧ по протоколу CANopen.
- Создание и ведение списка аварийных сообщений при пропадании связи с панелью оператора.
- Использование часов реального времени для получения даты и времени наступления определенного события, а также для подсчета ресурса работы двигателя.

Стоит также отметить, что проект можно дорабатывать и дальше. Введение дополнительных способов управления краном представляется несложной задачей. Так, например, с помощью WEB-сервисов панели оператора можно организовать управление со смартфона или планшета. Возможна также реализация относительного задания координат. Однако

данный способ управления перемещением проще реализовать с помощью скрипта панели оператора (зная текущую координату и смещение, можно вычислить конечную координату).

Также есть возможность связать контроллер и ПЧ только по шине CAN не задействуя при этом модули дискретного ввода и вывода. В программе это реализуется заменой всех прямых заданий на дискретные выходы и чтение дискретных входов на промежуточные переменные. При этом, в отдельном действии (например, Speed_Preset) реализуется выбор способа передачи: по дискретным входам и выходам или по управляющему/статусному слову по CANopen. Однако при реализации управления по шине пропадает возможность подключения РРСУ.

Что касается собственно контроллера, то можно также увеличить количество различных датчиков, получающих информацию о системе. Это реализуемо простым добавлением модулей, а также добавлением соответствующих строк, аналогичных существующим, в программные блоки.

Список использованных источников

1. Schneider-Electric, Modicon M258 Logic Controller Hardware Guide [Electronic resource] – 2014. – Режим доступа: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=682799231&p_File_Name=EIO0000000432.06.pdf, свободный. – На англ. яз.
2. Schneider-Electric, Modicon M258 Logic Controller Programming Guide [Electronic resource] – 2015. – Режим доступа: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=1419654650&p_File_Name=EIO0000000402.07.pdf, свободный. – На англ. яз.
3. Schneider-Electric, SoMachine CANopen Management Functions CAA CiA 405 Library Guide [Electronic resource] – 2011. – Режим доступа: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=682796484&p_File_Name=EIO0000000316.02.pdf, свободный. – На англ. яз.
4. Sew-Eurodrive, MOVIDRIVE[®] MDX60B/61B Communication and Fieldbus Unit Profile [Electronic resource] – 2009. – Режим доступа: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11264926.pdf>, свободный. – На англ. яз.
5. Sew-Eurodrive, MOVIDRIVE[®] MDX60B/61B Инструкция по эксплуатации [Текст]– Sew-Eurodrive, 2005.
6. Sew-Eurodrive, MOVIDRIVE[®] Модульное позиционирование [Текст] – Sew-Eurodrive, 2003.