

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ О. В. Непомнящий
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.01 Информатика и вычислительная техника
код и наименование направления

Контроллер мультиплексного канала обмена с функцией управления
амплитудой сигнала
тема

Руководитель	_____	<u>ст. преподаватель, канд. тех. наук</u>	<u>Д. А. Недорезов</u>
	подпись, дата	должность, учёная степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>К. Е. Байправ</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Консультант	_____	<u>доцент, канд. техн. наук</u>	<u>Л. И. Покидышева</u>
	подпись, дата	должность, учёная степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	<u>доцент, канд. техн. наук</u>	<u>В. И. Иванов</u>
	подпись, дата	должность, учёная степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Анализ стандарта межмодульного обмена информацией.....	6
1.1 Состав МКО	7
1.2 Анализ систем использующих МКО	7
1.2.1 АО «Элкус».....	8
1.2.2 Многоадресное оконечное устройство на плате TE6-PCI	8
1.2.3 НТЦ «Модуль»	9
1.2.4 Испытательный модуль MB26.16.....	9
1.3 Платформа	12
1.4 Вывод	13
2 Проектирование.....	13
2.1 Среда разработки.....	13
2.2 Основы организации шины МКО.....	14
2.3 Вывод	19
3 Практическая реализация	19
3.1 Интерфейс программы	19
3.2 Разработка программы Контролера шины (КШ).....	21
3.2.1 Состояние «Ожидание команд»	22
3.2.2 Состояние «Подготовка команды RX»	24
3.2.3 Состояние «Подготовка команды TX»	25
3.2.4 Состояние «Кодер Манчестер КС»	28
3.2.5 Состояние «Передача».....	29
3.2.6 Состояние «Таймаут t2 между словами»	30

3.2.7 Состояние «Подготовка СД»	31
3.2.8 Состояние «кодирование СД»	32
3.2.9 Состояние «отправка СД».....	33
3.2.10 Состояние «Ожидание rising ОС»	33
3.2.11 Состояние «Ожидание rising СД»	34
3.2.12 Состояние «замер длительности true ОС»	35
3.2.13 Состояние «замер длительности true СД»	36
3.2.14 Состояние «Чтение бит СД».....	37
3.2.15 Состояние «манчестер декодер СД»	38
3.2.16 Состояние «чтение СД»	39
3.2.17 Состояние «Замер длительности false ОС».....	40
3.2.18 Состояние «чтение бит ОС»	41
3.2.19 Состояние «Манчестер декодер ОС»	42
3.2.20 Состояние «Чтение ОС»	43
3.3 Программа для отладки и проверки.	44
3.3.1 Проверка режима чтения СД из ОУ.	46
3.3.2 Проверка режима записи СД в ОУ.....	48
3.4 Компилирование программы под ПЛИС.	48
3.5 Приемо-передатчик 1553 с управлением амплитудой	50
3.5.1 Схема приемо-передатчика.....	50
3.5.2 Контроллер NI MyRIO	51
3.5.3 Управление скоростью нарастания.....	51
3.5.4 Регулятор напряжения	52
3.5.5 Усилитель тока.....	53
3.5.6 Входной фильтр	54

3.5.7 Компаратор	55
3.5.8 Интерфейс с шиной MIL-STD-1553.....	56
3.6 Вывод	57
Заключение	58
Список использованных источников	59

ВВЕДЕНИЕ

Аппаратура современных космических аппаратов включает в себя одну или несколько бортовых вычислительных машин, которые в свою очередь управляют распределенными подсистемами электроснабжения, обеспечения теплового режима, ориентации и стабилизации, телеметрической, радиопередающей, информационной и научной аппаратурой целевого назначения.

Для локального соединения перечисленного оборудования широко применяется стандартизированный интерфейс последовательного мультиплексного канала обмена (МКО).

При комплексном электрическом тестировании космической аппаратуры, необходимо получать информацию о работе бортовых вычислительных машин и подсистем с помощью устройств МКО.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование возможности разработки контроллера мультиплексного канала обмена (МКО) с функцией управления амплитудой сигнала на базе платформы NI myRIO.

Одним из аспектов этой работы является реализация функции управления амплитудой входного/выходного сигнала.

1 Анализ стандарта межмодульного обмена информацией

В настоящее время в космических аппаратах в качестве межсистемной магистрали для связи отдельных бортовых систем с бортовым компьютером применяется мультиплексный канал обмена (МКО) по ГОСТ Р 52070-2003 и MIL-STD-1553В. Абоненты интерфейса МКО представлены тремя отдельными устройствами:

- контроллер шины (КШ) МКО, управляющий обменом информацией в интерфейсе, включая передачу команд в магистраль, прием и передачу слов данных (СД), прием и контроль ответственной информации о состоянии конечных устройств и абонентов;

- оконечное устройство (ОУ) МКО, функционирующие в соответствии с командами КШ, которые должны распознавать командные слова (КС) от КШ и отвечать на них, и выполнять команды управления;

- монитор шины, осуществляющий контроль информации, передаваемой по информационной магистрали, техническое обслуживание, регистрацию параметров и анализ решаемых задач.

Данный стандарт распространяется на магистральный последовательный интерфейс с использованием централизованного управления, он применяется в системе электронных модулей, и устанавливает требования к:

- организации обмена информацией;
- функциям устройств интерфейса и контролю передачи информации;
- характеристикам информационной магистрали;
- характеристикам устройств интерфейса;
- интерфейсу с резервированием.

1.1 Состав МКО

Контроллер, обычно входящий в состав бортовой вычислительной машины, управляет обменом информацией, осуществляет сопряжение с линией передачи информации, контроль передачи информации, состояния ОУ и самоконтроль.

ОУ принимает и выполняет адресованные ему команды контроллера, осуществляет сопряжение подключенного оборудования с линией передачи информации, контролирует передачу информации, производит самоконтроль и передает результаты контроля в контроллер.

Линия передачи информации состоит из магистральной шины, соединителей и разъемов.

Магистральная шина линии передачи информации выполняется из кабеля с витой экранированной парой проводов в защитной оболочке, к которым с обоих концов кабеля должны быть подключены согласующие резисторы.

В интерфейсах МКО обмен информацией осуществляется по принципу команда-ответ с временным разделением сообщений, состоящих из командных, информационных и ответных слов (КС, ИС, ОС).

1.2 Анализ систем использующих МКО

На сегодняшний день существует ряд систем, поддерживающих стандарт ГОСТ Р 52070-2003 и MIL-STD-1553B. Магистральный последовательный интерфейс сейчас используется не только в военной бортовой авионике, но и в гражданских системах. На отечественном рынке в данной сфере преобладают компании «ЭЛКУС» и «Модуль».

Для более широкого понимания принципа работы контроллера, сопряжённого с интерфейсом MIL-STD-1553B, следует более подробно рассмотреть продукцию этих компаний.

1.2.1 АО «Элкус»

"Электронная компания "ЭЛКУС" занимается разработкой и производством специализированной элементной базы и устройств сопряжения с интерфейсами ГОСТ 26765.52-87, ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553B), ГОСТ 18977-79 (ARINC-429), CAN-BUS (ISO11898), RS232, RS485; Ethernet-коммутаторов, плат ввода/вывода цифровой и аналоговой информации.

Более подробно рассмотрим один из модулей, этой компании сопряжённых с интерфейсом MIL-STD-1553B.

1.2.2 Многоадресное оконечное устройство на плате ТЕ6-PCI

Многоадресное оконечное устройство предназначено для эмуляции функций до 4-х оконечных устройств на одной плате.

Устройство содержит резервированный приемопередатчик, двухпортовое ОЗУ 8Кx16, контроллер интерфейса PCI, протокольные микросхемы, реализующие функции управления необходимыми режимами. В адресном пространстве портов ввода/вывода устройство занимает 16 последовательных адресов и использует одну линию запроса прерывания. Базовый адрес и номер используемого прерывания настраиваются системой PnP.

Устройство реализовано на плате ТЕ6-PCI, которая дополнительно может работать в стандартном режиме: контроллер канала, оконечное устройства или монитор (см. описание платы ТЕ1-PCI).

Каждый режим задается своим загрузочным файлом В комплект поставки входит базовое программное обеспечение, построенное на основе драйверной библиотеки.

В устройстве используется схема приемопередатчика EL-12R и трансформаторы ТИЛ-5В. Устройство может подключаться к ЛПИ с использованием одинарной или двойной трансформаторной развязки.

Предусмотрена возможность установки согласующего сопротивления 75 Ом в случае, если устройство расположено в конце линии.

1.2.3 НТЦ «Модуль»

Компания «Модуль» занимается прикладными исследованиями и практическими разработками в области цифровой обработки сигналов и изображений и построением функционально законченных вычислительных комплексов. Начиная с 1995 года, компания разрабатывает высокопроизводительные процессорные ядра и аналогово-цифровые системы на кристалле. В собственности компании вычислительные мощности и технологии, позволяющие проводить наукоемкие исследования и разработки.

Более подробно рассмотрим один из модулей, этой компании сопряжённых с интерфейсом MIL-STD-1553B.

1.2.4 Испытательный модуль MB26.16

Модуль MB26.16 предназначен для сопряжения ПЭВМ IBM PC с мультиплексным каналом обмена (МКО) по ГОСТ Р 52070-2003 по резервированной ЛПИ и может использоваться как тестер протокольных характеристик внешних устройств или как обычный терминал МКО (КШ/ОУ/МТ), с программируемым выбором требуемого режима работы.

Модуль выполнен в виде печатной платы, устанавливаемой в стандартный PCI-слот персонального компьютера, и содержит разделяемое ОЗУ, контроллер системной шины PCI, многопротокольную логику связанной машины МКО, обеспечивающую работу модуля в режимах КШ/ОУ/МТ и тестера, резервированный приёмопередатчик МКО и изолирующие трансформаторы.

В адресном пространстве PCI модуль занимает несколько сегментов, доступ к которым осуществляется с помощью базовых адресов. При включении ПК системный BIOS самостоятельно назначает сегменты адресного

пространства PCI локальным адресным областям модуля, прописывая в него базовые адреса.

Базовое программное обеспечение модуля включает в себя библиотеку программ интерфейса и прикладных программ (мобильную библиотеку функций реального времени выполнения), обеспечивающую работу с устройством на высоком уровне абстракции, в терминах протокола MIL-STD-1553B (используя высокоуровневые функции многопротокольной логики связной машины МКО), и драйвер для операционных систем MS Windows 95/98/NT/2000/XP.

Несмотря на выше перечисленную конфигурацию модулей TE6-PCI и MB26.16, существует ещё немало плат сопряженных с интерфейсом MIL-STD-1553B. Ниже приведён перечень плат, сопряжённых с данным интерфейсом от компании ЭЛКУС (рисунок 1.)

Платы сопряжения с интерфейсом MIL-STD-1553В							
Плата	Шина	Режимы*			Число каналов	Резерв.	Конструктив
		КК	ОУ	МТ			
TAM1	ISA-16/8	+	+	+	1	+	33x41 мм
МПК-МКИО-ARINC-ПК	PCI Express x1	+	+	+	4	+	3U OpenVPX
TA1-XMC4	PCI Express x1	+	+	+	4	+	XMC
TA1-MPE2	PCI Express x1	+	+	+	2	+	PCI Express Mini Card
TA1-PE2	PCI Express x1	+	+	+	2	+	IBM PC
TA1-PE4	PCI Express x1	+	+	+	4	+	IBM PC
TA1-PE-32RT	PCI Express x1	-	32	-	1	+	IBM PC
TA1-USB	USB	+	+	+	1	+	30x50x100 мм
TA1-3U-CPCIS	CompactPCI-Serial	+	+	+	4	+	Евромеханика 3U
TA1-3U-CPCI	CompactPCI	+	+	+	4	+	Евромеханика 3U
TA1-3U-CPCI-R	CompactPCI	+	+	+	4	+	Евромеханика 3U
TA1-6U-CPCI	CompactPCI	+	+	+	4	+	Евромеханика 6U
TA1-PCI	PCI	+	+	+	1	+	IBM PC
TA1-PCI-32RT	PCI	-	32	-	1	+	IBM PC
TA1-PCI4	PCI	+	+	+	4	+	IBM PC
TA1-104PCI	PCI	+	+	+	2	+	PC/104-Plus
TA1-PMC2	PCI	+	+	+	2	+	PMC
TA1-BV6	VME	+	+	+	4	+	Евромеханика 6U
TA1-PC	ISA-16	+	+	+	1	+	IBM PC
TA1-104	ISA-16	+	+	+	2	+	PC/104
TA1-104ISA-04	ISA-16	+	+	+	4	+	PC/104
TA1-IP	ISA-16	+	+	+	1	+	IndustryPack
TA1-MP	ISA-8	+	+	+	2	+	MicroPC
TE1-3U-CPCI	CompactPCI	+	+	+	2	+	Евромеханика 3U
TE1-6U-CPCI	CompactPCI	+	+	+	2	+	Евромеханика 6U
TE1-CAN-6U-CPCI	CompactPCI	+	+	+	4	+	Евромеханика 6U
TE1-PCI	PCI	+	+	+	1	+	IBM PC
TE1-PCI2	PCI	+	+	+	2	+	IBM PC
TH1-PCI	PCI	+	+	+	1	+	IBM PC
TV1-PCI	PCI	+	+	+	1опт	+	IBM PC
TE1-6UV	VME	+	+	+	4	+	Евромеханика 6U
TE1-TSV	VME	+	+	+	4	+	Евромеханика 6U
TX1-BV	VME	+	+	+	2	+	Евромеханика 6U
TX1-BV5	VME	+	+	+	2	+	Евромеханика 6U
TE1-PC, TX1-PC	ISA-16	+	+	+	1	+	IBM PC
TE1-104, TX1-104	ISA-16	+	+	+	1	+	PC/104
TX1-PC2	ISA-16	+	+	+	2	-	IBM PC
TX1-B	ISA-16	+	+	+	2	+	Евромеханика 6U
TE1-MP, TX1-MP	ISA-8	+	+	+	1	+	MicroPC
МПИ-ISA	ISA-16	+	+	+	2	+	PC/104
АМКО-5М	ISA-16	+	+	+	1	+	PC/104
ОУ-400	ИРПР-16	-	+	-	1	-	114 x 74 мм
РОУ-400	ИРПР-16	-	+	-	1	+	Евромеханика 3U
РОУ-144	ИРПР-16	-	+	-	1	+	85 x 46 мм
РОУ-144НТ	ИРПР-16	-	+	-	1	+	85 x 46 мм
РОУ-144ТА	ИРПР-16	-	+	-	1	+	85 x 46 мм
РОУ-144SXA	ИРПР-16	-	+	-	1	+	85 x 46 мм

* КК - контроллер канала, ОУ - оконечное устройство, МТ - монитор канала

Рисунок 1 – Платы сопряжения с интерфейсом MIL-STD-1553В

1.3 Платформа

Для реализации студенческого проекта вполне подойдет платформа от National Instruments myRIO.

В первую очередь это учебный прибор, созданный для реализации академических проектов. Он содержит двухъядерный программируемый процессор ARM Cortex-A9 с тактовой частотой 667 МГц. И кастомизируемую программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС) Xilinx, которая подойдет для разработки систем студенческого масштаба и быстрого решения, встающих перед студентом проблем разработчика, в компактном и простом форм-факторе.

NI myRIO содержит программируемый чип Zynq-7010, позволяющий в полную силу использовать возможности LabVIEW, как для приложений реального времени, так и для ПЛИС. Вместо долгих часов, затраченных на отладку кода или разработку пользовательского интерфейса, можно воспользоваться графическим подходом LabVIEW, освоение которого не составит большого труда.

Возможность работы с ПЛИС в реальном времени, а также встроенный Wi-Fi модуль позволяют запускать приложения удаленно и без подключения к компьютеру. Три разъема (2 порта расширения NI myRIO (MXP) и один порт NI mini Systems (MSP), идентичный разъему NI myDAQ) передают и получают сигналы от датчиков и электрических схем, используемых в различных системах. NI myRIO содержит в общей сложности 40 цифровых линий ввода/вывода с поддержкой SPI, PWN выхода, входного импульсного датчика, UART и I2C; восемь односторонних аналоговых входов; два дифференциальных аналоговых входа; четыре односторонних аналоговых выхода; и два общих аналоговых выхода, позволяющие подключать сенсоры, разного вида устройства и программируемые контроллеры систем.

1.4 Вывод

В ходе анализа аналогов, выявлено, что, на сегодняшний день, на рынке, наблюдается недостаток контроллеров МКО с функцией управления амплитудой сигнала, причем отсутствуют решения на базе NI MyRIO. Особенно актуальна эта проблема для отечественного рынка, следовательно, разрабатываемое устройство должно быть реализовано на базе NI myRIO и иметь функцию управления амплитудой сигнала.

2 Проектирование

2.1 Среда разработки

Для дальнейшей работы была выбрана среда разработки LabVIEW, данная платформа отлично подходит для разработки и тестирования МКО на плате myRIO. Говоря простым языком, LabVIEW — это среда создания приложений для задач сбора, обработки, визуализации информации от различных приборов, лабораторных установок и т.п. А также для управления технологическими процессами и устройствами.

В основе LabVIEW лежит графический язык программирования «G», то есть язык, использующий функционально-логический принцип конструирования (рисования) и графического представления алгоритмов программ. В отличие от текстово-графических пакетов программ, таких как (Pascal, Delphi, LabWindows/CVI, Measurement Studio, Visual Basic, Visual C/C++) графические пакеты более просты в освоении, более наглядны, легче модифицируются и отлаживаются, быстрее разрабатываются.

Несомненным достоинством графических систем программирования является имитационное моделирование – наиболее эффективный метод исследования систем, а часто и единственный практически доступный метод

получения информации о поведении системы, особенно на этапе ее проектирования.

Так же важным этапом разработки систем и приборов LabVIEW, является натурное моделирование—т.е. проведение исследования на реальном объекте с возможностью вмешательства человека в процесс проведения эксперимента и последующей обработки результатов эксперимента на вычислительной технике.

Отличие модельного эксперимента от реального заключается в том, что в модельном эксперименте могут быть реализованы любые ситуации, в том числе «невозможные» и аварийные, что в силу специфики данного проекта, может иметь очень большое значение.

2.2 Основы организации шины МКО

Мультиплексные каналы межмодульного обмена информации (МК), имеют магистральную организацию (рисунок 2).

Как уже было сказано, по стандарту все абоненты делятся на два типа:

- контроллер шины (КШ);
- оконечные устройства (ОУ).

Наряду с КШ и ОУ возможно подключение к МК «мониторов» — безадресных абонентов, используемых для наблюдения за потоками информации в МК. Функция контроллера может передаваться «интеллектуальным» ОУ. Процедура «передачи жезла» выполняется по командам и называется динамическим управлением каналом.

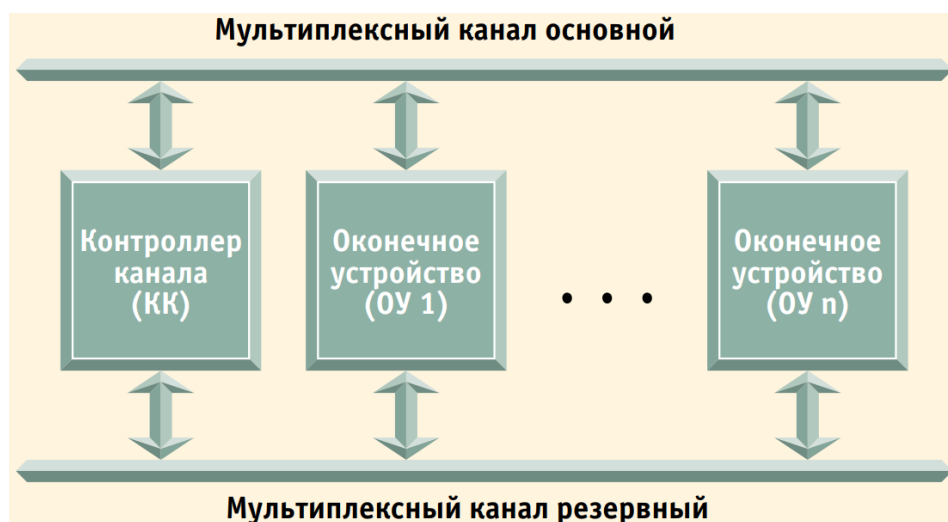


Рисунок 2 - Мультиплексный канал имеет топологию типа «шина» с возможностью резервирования

Взаимодействие каналов верхних и нижних уровней осуществляется через «шлюзы», строящиеся на основе ЭВМ (рисунок 3). Физической средой распространения сигналов служат витая пара в экране, коаксиальный или триаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Информация передается в коде «Манчестер-2» на частоте 1 МГц ($T_c=1$ мкс). Электрические параметры импульсов показаны на рис. 3, а кодировка сигналов иллюстрируется (рисунок 5). Единица передается как биполярный кодированный сигнал 1/0 (за положительным импульсом следует отрицательный импульс). Нуль передается как биполярный кодированный сигнал 0/1 (за отрицательным импульсом следует положительный импульс). Переход через нулевой уровень осуществляется в середине интервала времени, в течение которого передается информационный разряд. Размах сигнала ($2U_0$) на выходе передатчика составляет 3-10 В, а на входе приемника 1-10 В. Длительность фронта ТФ сигнала составляет 100...150 нс.

Форматы слов МК приведены в таблице 1. Все слова подразделяются на такие типы как:

- командное слово (КС);
- слово данных (СД);
- ответное слово (ОС).

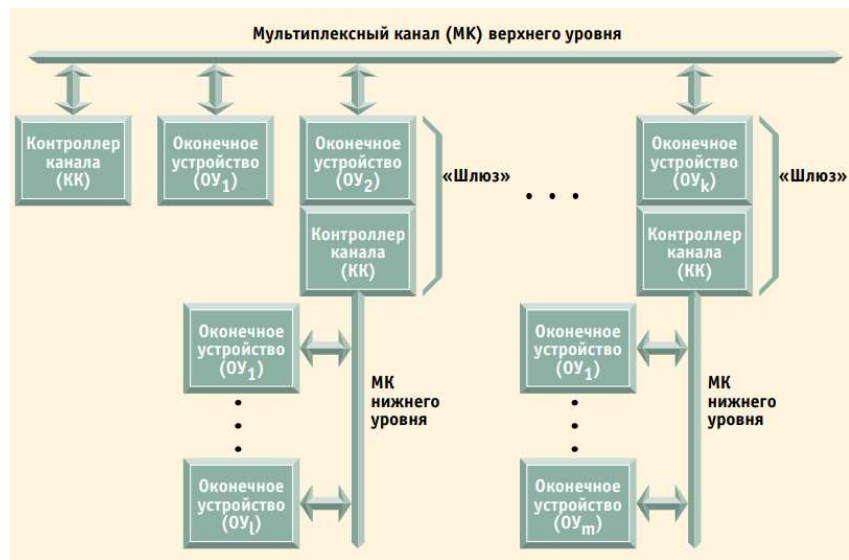


Рисунок 3 - Многоуровневая система управления на основе мультиплексного канала

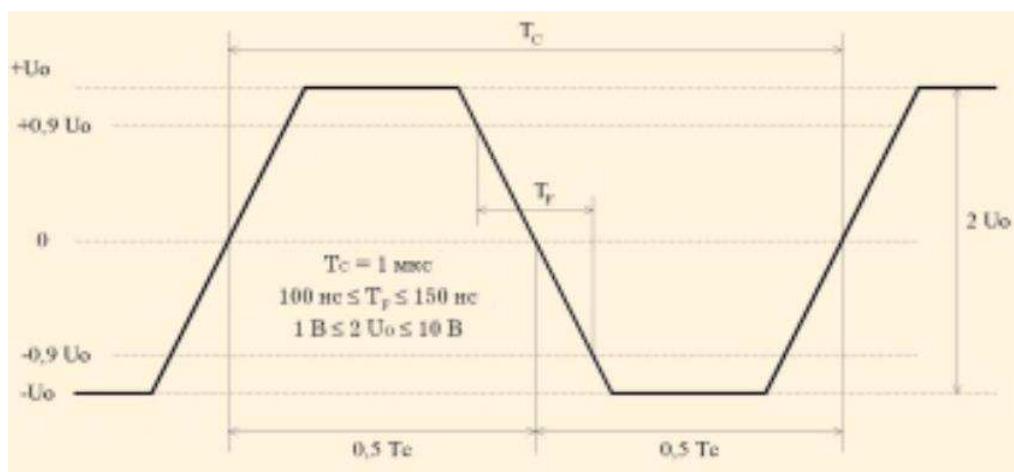


Рисунок 4 - Электрические и временные параметры сигнала в мультиплексном канале

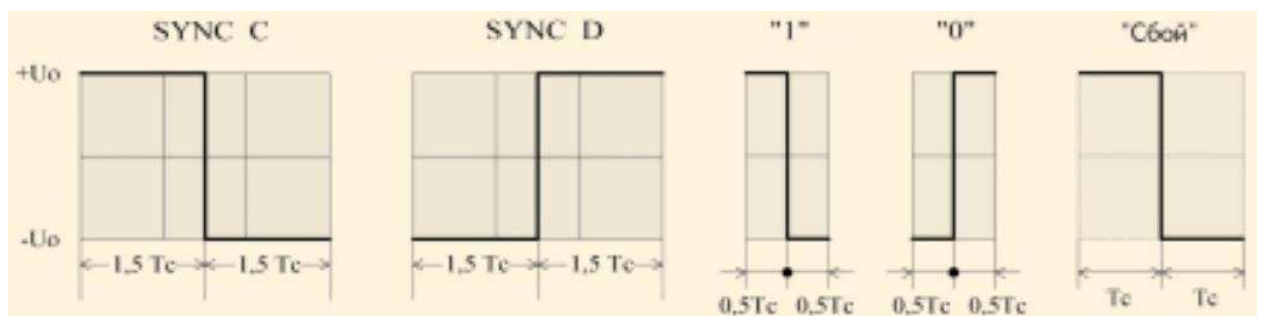


Рисунок 5 - Информация в мультиплексном канале передается кодом «Манчестер-2»

Таблица 1 - Форматы слов в мультиплексном канале

Номера битов слова																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
КС			Адрес ОУ					К	Подадрес режим управления				Число СД код команды				Р		
СД			Данные [15 – 00]																Р
ОС			Адрес ОУ					9	10	11	12 - 14		15	16	17	18	19	20	

Бит 10 = 1 для КС и = 0 для ОС

Старший бит – 4, младший - 19

Наличие в составе слов синхросигнала (КС и ОС) позволяет отличать служебные и информационные слова, при этом в ряде случаев используется инструментальный 10-й бит, позволяющий «мониторам» различать командные и ответные слова. Наличие пятиразрядного адреса (Адрес ОУ) позволяет адресовать до 31 оконечного устройства. При этом адрес «11111» используется в качестве признака широковещательного режима (посылка адресована всем абонентам). Кодировка остальных полей поясняется далее:

К — признак приема (0) или передачи (1) данных ОУ;

Подадрес — поле подадреса (адреса блока данных длиной до 32 слов) или признак команды управления (00000 или 11111);

Число СД — поле числа слов в посылке (00001-1, 00010-2, ..., 11111-31, 00000-32) или код команды управления (рисунок 6);

- 9-й бит — признак ошибки в сообщении (1);
- 10-й бит — инструментальный бит (1 — команда, 0 — ответное слово);
- 11-й бит — запрос на обслуживание (1);
- 15-й бит — признак принятия групповой команды (1);
- 16-й бит — признак занятости абонента (1);
- 17-й бит — флаг неисправности абонента (1);
- 18-й бит — признак принятия управления каналом (1);
- 19-й бит — флаг неисправности ОУ (1);

- Р — бит контроля четности (дополнение числа единиц в слове до нечетного);
- 12-14 биты — резервные разряды (используются по системному соглашению).

Разряд "Прием/ передача"	Код команды	Команда управления	Применение	
			в групповом сообщении	со словом данных
1	00000	Принять управление интерфейсом	Нет	Нет
1	00001	Синхронизация	Да	Нет
1	00010	Передать ОС	Нет	Нет
1	00011	Начать самоконтроль ОУ	Да	Нет
1	00100	Блокировать передатчик	Да	Нет
1	00101	Разблокировать передатчик	Да	Нет
1	00110	Блокировать признак неисправности ОУ	Да	Нет
1	00111	Разблокировать признак неисправности ОУ	Да	Нет
1	01000	Установить ОУ в исходное состояние	Да	Нет
1	От 01001 до 01111	Резерв	-	Нет
1	10000	Передать векторное слово	Нет	Да
0	10001	Синхронизация (с СД)	Да	Да
1	10010	Передать последнюю команду	Нет	Да
1	10011	Передать слово ВСК ОУ	Нет	Да
0	10100	Блокировать <i>i</i> -й передатчик	Да	Да
0	10101	Разблокировать <i>i</i> -й передатчик	Да	Да
-	От 10110 до 11111	Резерв	-	Да

Примечания. 1 и 0 — значение бита К (прием/передача); (-) — запрет режима; (+) — разрешение режима.

Рисунок 6 – Кодировка команд управления стандарта MIL-STD-1553B

Кодировка поля подадреса позволяет адресовать до 32 блоков данных, при этом подадреса 00000 и 11111 используются для выделения команд управления по отношению к командам обмена информацией. Кодировка команд управления приведена в табл. 2. При использовании инструментального бита число подадресов ОУ сокращается с 30 (32 минус код «00000» и «11111») до 14 соответственно.

Информация передается в полудуплексном режиме с временным разделением посылок под управлением контроллера по принципу «команда-ответ».

Анализ стандарта ГОСТ Р 52070-2003 позволяет сделать вывод о широких возможностях, заложенных в протокол обмена и электрические спецификации, что открывает благоприятные перспективы для широкого внедрения стандарта в КМКО.

2.3 Вывод

В данной главе был рассмотрен стандарт МКО и его устройства.

Было описано взаимодействие каналов верхних и нижних уровней, форматы слов и способ их передачи, а также кодировка команд управления.

Была определена среда разработки ПО и выбрана аппаратная платформа myRIO для дальнейшего исследования и разработки контроллера МКО и его тестирования.

3 Практическая реализация

3.1 Интерфейс программы

Весь интерфейс программы реализован на 3 панелях: КШ, ОУ, панель-диаграмма амплитуды сигнала (рисунок 7)

На панели КШ можно выделить несколько настраиваемых окон:

- настройка адреса ОУ в диапазоне от 0 до 30 позволяет адресовать до 31 оконечного устройства;
- управление амплитудой выходного/входного сигнала в диапазоне от 18 до 27 В;
- команда чтения позволяет настроить количество СД принимаемых от ОУ, так же отображены принимаемые данные и индикатор ошибки чтения;
- команда передачи позволяет настроить количество СД передаваемых ОУ, диапазон подадреса от 1 до 30, а также имеется индикатор ошибки передачи СД, поле для ввода СД и переключатель между ними;
- управление ОУ позволяет задать команду управления для оконечного устройства;
- машина состояний КШ отображает состояние выполнения функции;
- На панели ОУ можно так же выделить несколько окон;
- настройка адреса этого ОУ в диапазоне от 0 до 30;
- передача СД на КШ имеет поле для ввода СД;
- получение СД от КШ отображает принятые СД;
- приём КС отображает количество СД, значение подадреса, а также оснащён индикатором передачи данных на ОУ;
- машина состояний ОУ отображает состояние выполнения функции.

Панель диаграмма Amplitude отображает значение сигнала с течением времени в мс.

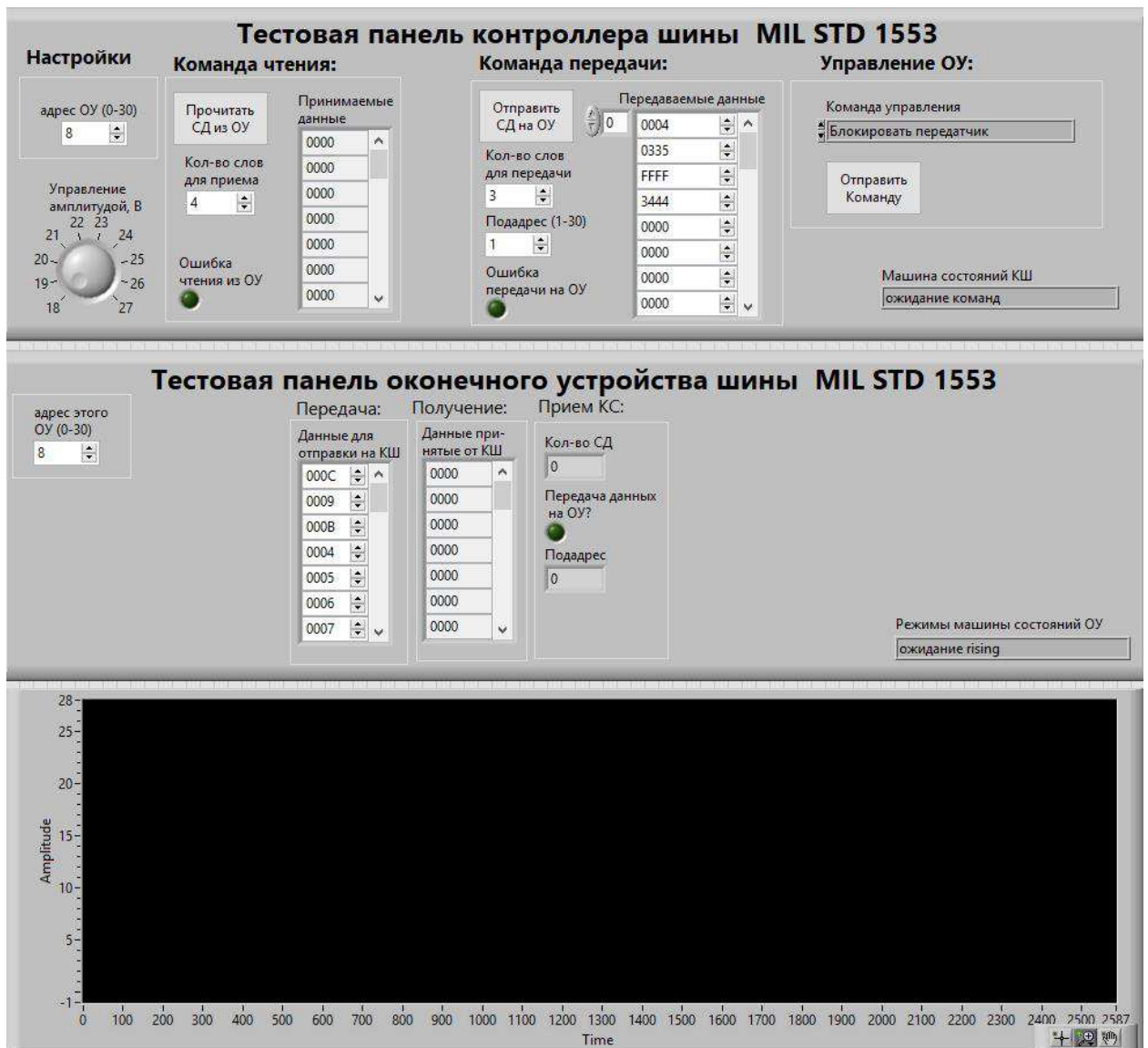


Рисунок 7 - Тестовая панель КШ, тестовая панель ОУ, панель диаграмма амплитуды сигнала

3.2 Разработка программы Контролера шины (КШ)

Контроллер шины является основной панелью, именно на нём сконцентрирован основной функционал, и именно с него ведётся управление.

На рисунке 5 КШ ожидает команд от интерфейса верхнего уровня. За основу механизма обработки команд взята так называемая машина состояний. Она состоит из case-структуры, в каждом из состоянии которой выполняется своя функция:

- ожидание команд;
- подготовка команды RX;
- подготовка команды TX;
- кодер манчестер2 КС;
- таймаут t2 между словами;
- передача;
- ожидание rising СД;
- замер длительности true СД;
- чтение бит СД;
- ожидание rising ОС;
- замер длительности false ОС;
- замер длительности true ОС;
- чтение бит ОС;
- Манчестер декодер ОС;
- чтение ОС;
- подготовка СД;
- кодирование СД;
- отправка СД.

Рассмотрим каждое состояние в отдельности.

3.2.1 Состояние «Ожидание команд»

После запуска программы, машина состояний находится в положении «ожидание» (рисунок 8).

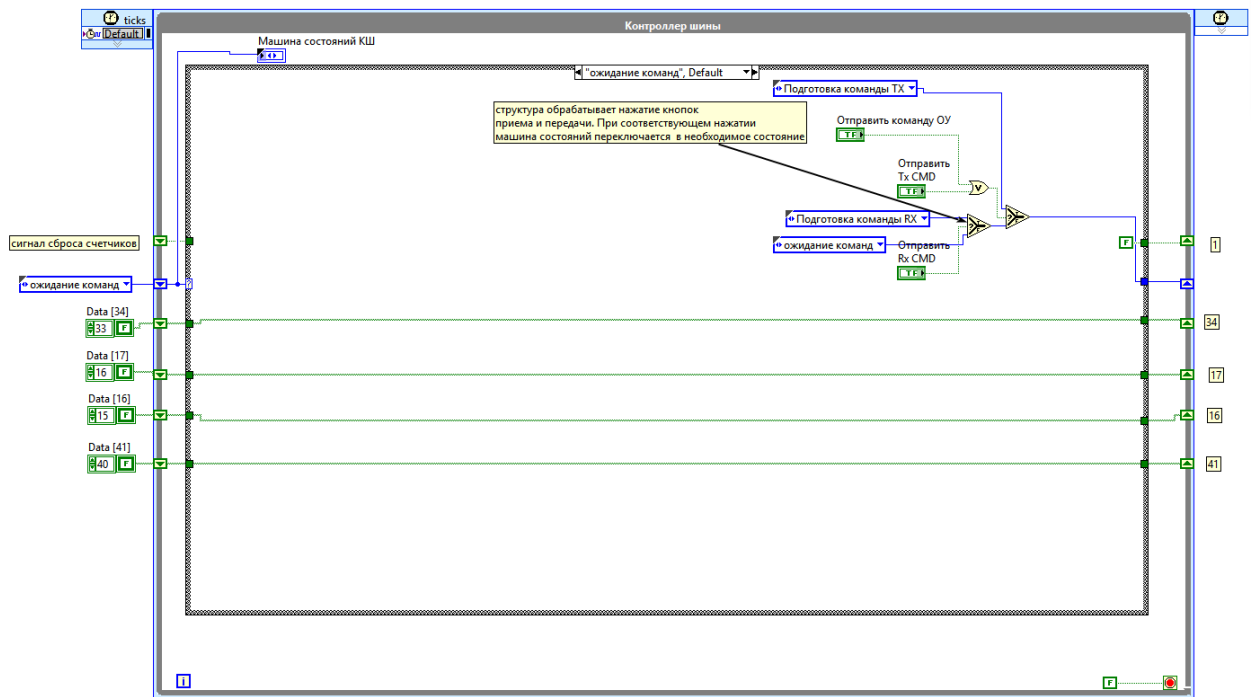


Рисунок 8 - КШ состояние «ожидание команд»

Внутренний код обрабатывает нажатие кнопок приема, передачи и отправки команды управления (КУ).

При нажатии кнопки «Отправить Tx CMD» сигнал «истина» поступает в функцию «select». Соответственно на выход передается текст «Подготовка команды TX». Машина состояний переключается в состояние «Подготовка команды TX» (рисунок 9).

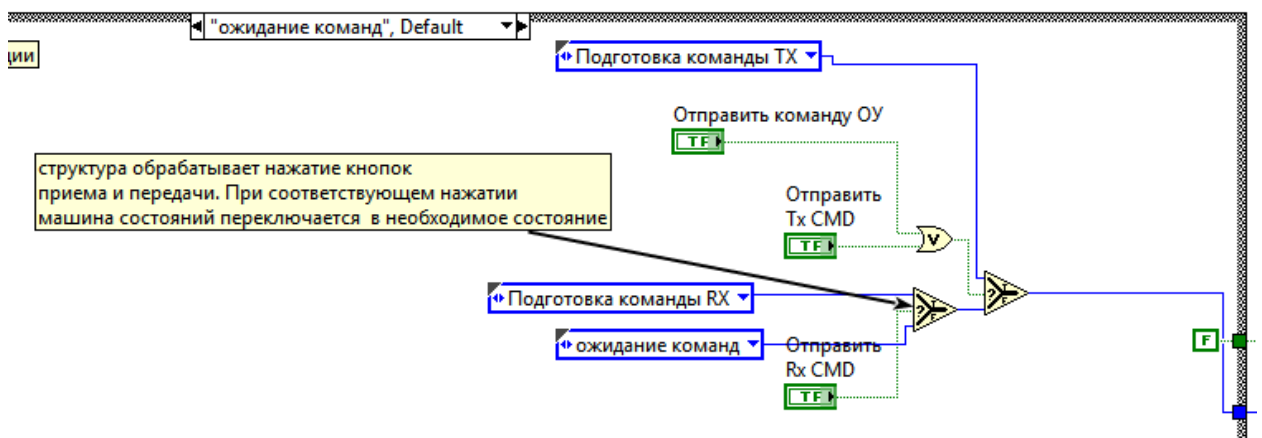


Рисунок 9 - Отправка команды управления «Подготовка команды TX»

3.2.2 Состояние «Подготовка команды RX»

При нажатии кнопки «Отправить Rx CMD» или «Отправить команду ОУ» сигнал «истина» поступает в функцию «ИЛИ», а затем через «Select» на выход передается текст «Подготовка команды RX», а машина состояний переключается в состояние «Подготовка команды RX» (рисунок 10).



Рисунок 10 - Отправка команды управления «Подготовка команды RX»

В случае, если никаких кнопок не нажимается, на выход передается текст «ожидание» и машина состояний переходит в соответствующую позицию (рисунок 11).



Рисунок 11 - Состояние «ожидание»

3.2.3 Состояние «Подготовка команды TX»

Для передачи данных от КШ к ОУ необходимо сформировать пакет формата 1: (рисунок 12).

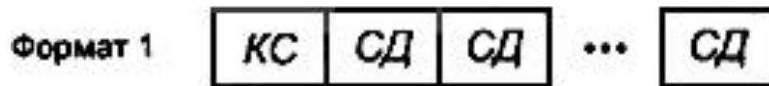


Рисунок 12. Формат основных сообщений

Который состоит из командного слова (КС) и слов данных (СД), идущих без пауз друг за другом. Код сборки этого пакета находится в состояниях (рисунок 13).

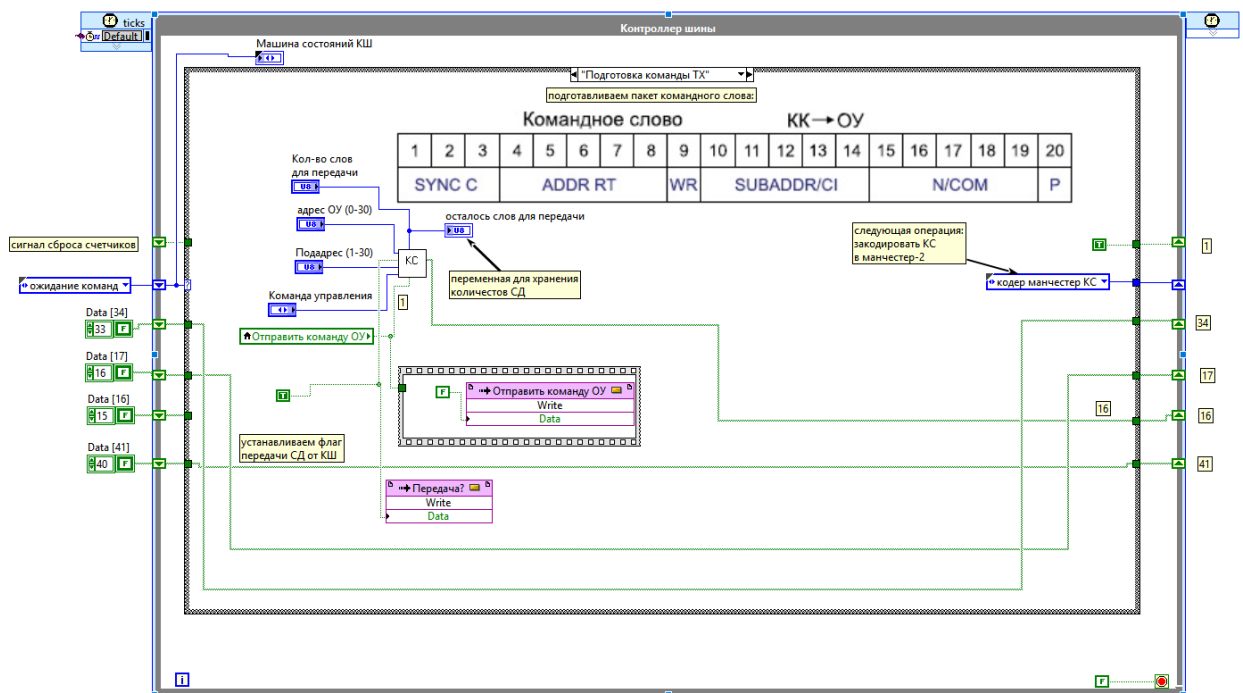


Рисунок 13 - Виртуальный прибор «подготовка контрольного слова»

виртуальный прибор (ВП) «подготовка контрольного слова» преобразует данные с элементов управления в 20 битный пакет, структура которого показана на рисунке 14.

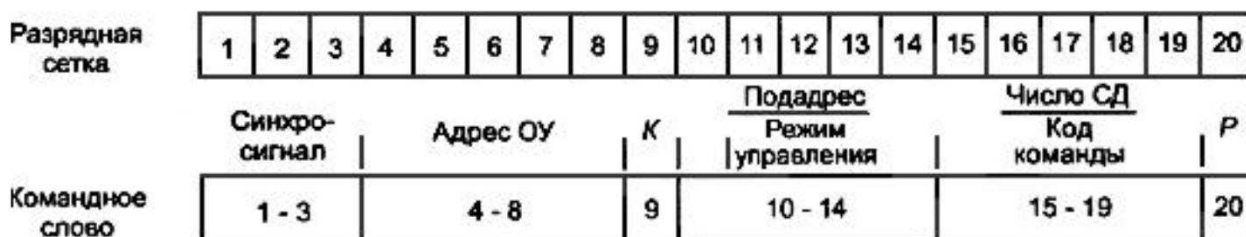


Рисунок 14 - Формат передаваемых слов

Первые три бита — это сигнал пословной синхронизации командного слова (рисунок 15).



Рисунок 15 - Синхросигнал командного слова

Он не кодируется с помощью манчестер-2, поэтому 1й и 3й биты можно опустить, а добавить их на этапе кодировки.

Биты с 4 по 8й – адрес окончного устройства(ОУ), которому КШ передает данные. Преобразуем цифровое значение номера ОУ с помощью функции «numbertoarray» в бинарный код.

9й бит – разряд приема\передачи. «Истина» говорит о передаче данных, «ложь» - прием.

С 10го по 14й бит указывается подадрес или режим управления. Режим управления записывается в 10й бит, при этом в биты 15-19 записывается код команды в бинарном виде. Этот код собирается согласно таблице 3 с помощью подВП «команда управления». Этот ВП состоит из «case» структуры, выбирающей соответствующий набор пяти бит. (рисунок 16).

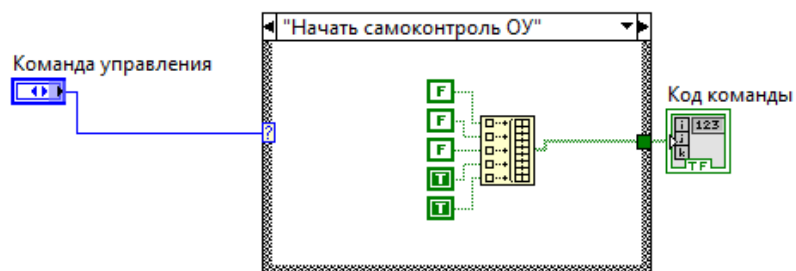


Рисунок 16 - Структура «команда управления»

Если же обсуждаемое слово не содержит команды управления (КУ) то в биты 15-19 записывается число запрашиваемых у ОУ слов данных (СД). А в биты 10-14 подадрес ОУ.

Последний, 20й бит – это бит четности. Он формируется при выполнении операции «исключающее или» последовательно со всеми битами, исключая сигнал пословной синхронизации.

Все получившиеся биты с помощью функции «Inserttoarray» составляются в цепочку друг за другом, получая КС (рисунок 17).

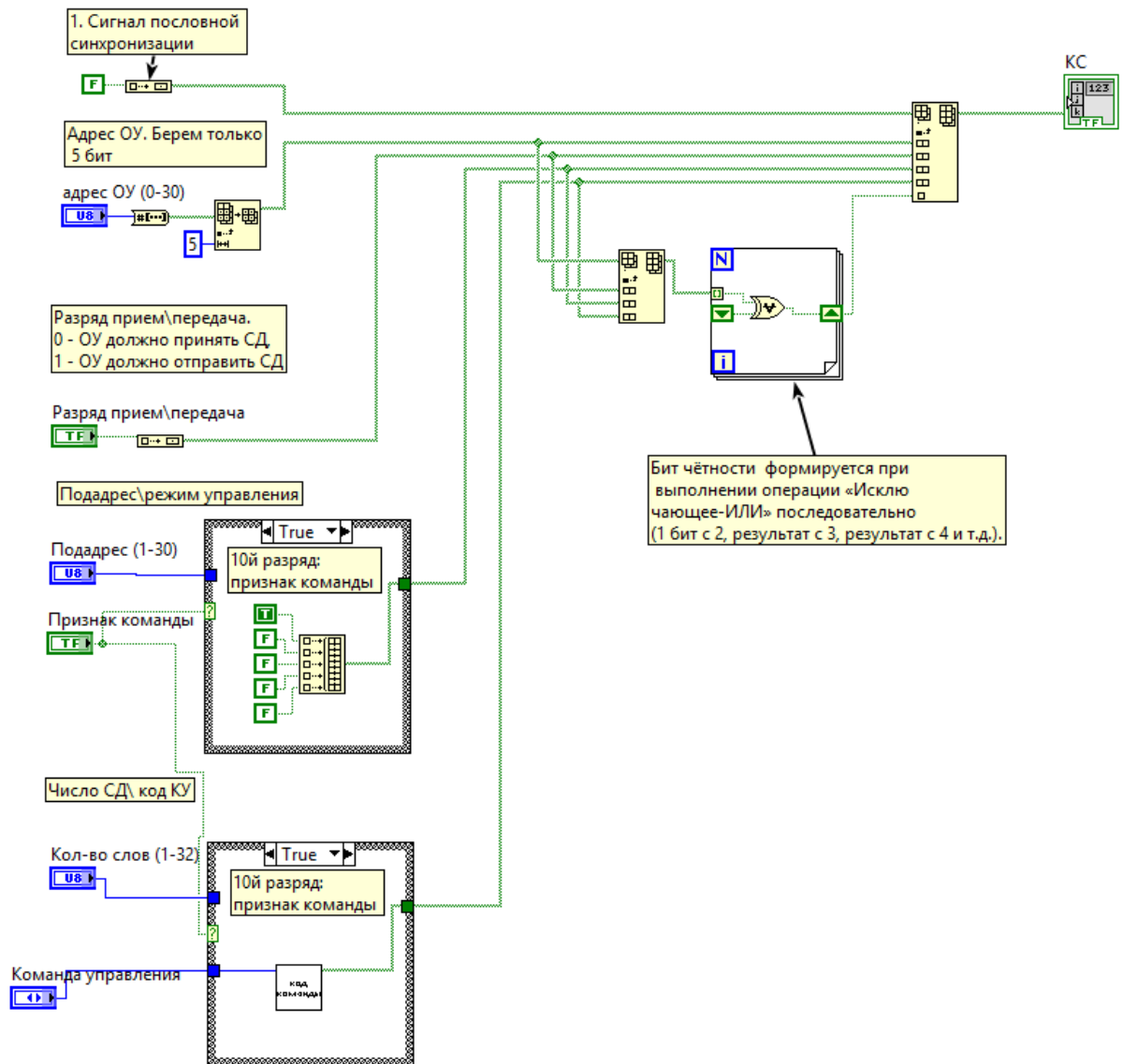


Рисунок 17 -Составление командного слова

Следующей операцией идет кодирование КС кодом манчестер-2.

3.2.4 Состояние «Кодер Манчестер КС»

В этом состоянии имеется счетчик закодированных бит. Каждый бит кодируется последовательностью полубит. Когда счетчик бит достигнет 16, в массив добавляется синхросигнал и бит четности (рисунок 18).

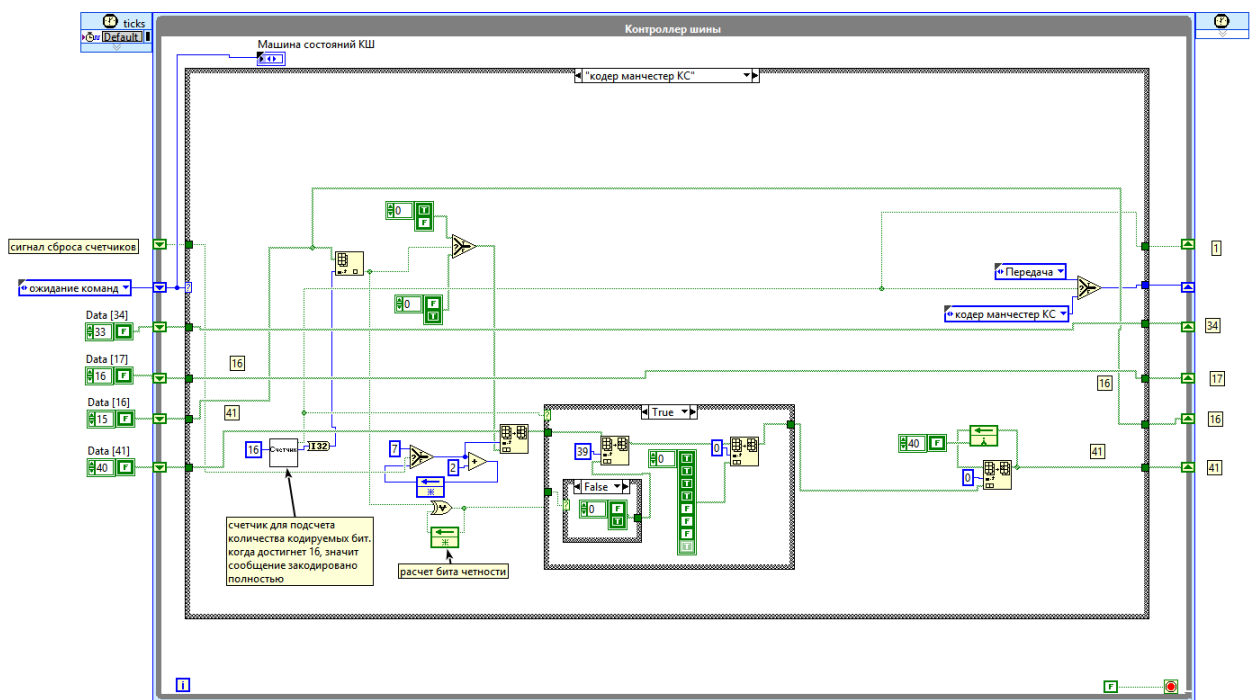


Рисунок 18 - Состояние «Кодер Манчестер КС»

- "Истина" кодируется битами "истина" и "ложь" идущими друг за другом;
- "Ложь" кодируется битами в обратном порядке.

3.2.5 Состояние «Передача».

В этом состоянии работают два счетчика: переданных бит и счетчик длительности полубита (рисунок 19).

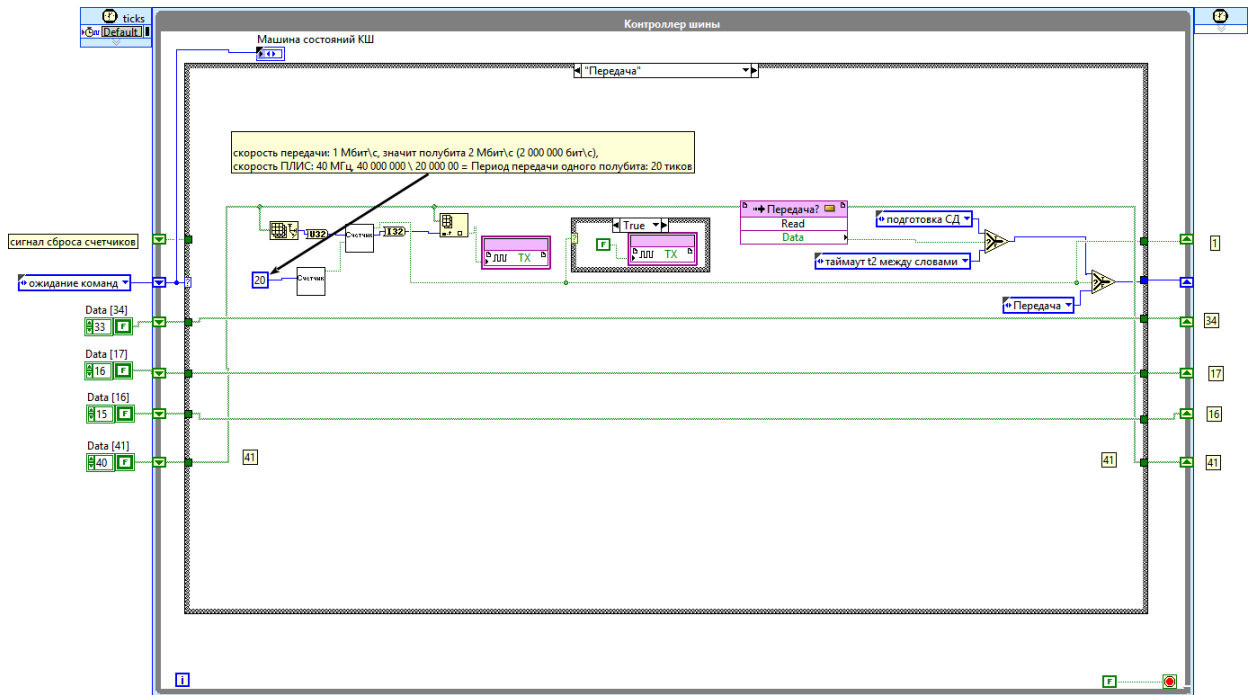


Рисунок 19 - Состояние «Передача».

Скорость передачи: 1 Мбит\с, значит полубита 2 Мбит\с (2 000 000 бит\с), скорость ПЛИС: 40 МГц, $40\,000\,000 \div 20\,000\,00 =$ Период передачи одного полубита: 20 тиков.

Записываем данные в линию передачи TX.

Когда счетчик переданных бит достигнет конца, то выполняется проверка: если флаг передачи в контрольном слове – истина, значит следующим состоянием будет подготовка слова данных. Если же ложь, тогда таймаут t_2 и последующее ожидание ответного слова.

3.2.6 Состояние «Таймаут t_2 между словами»

Согласно стандарту, необходимо выдержать таймаут 4 мкс между словами. 4 мкс при частоте ПЛИС 40 МГц это 160 тиков (рисунок 20).

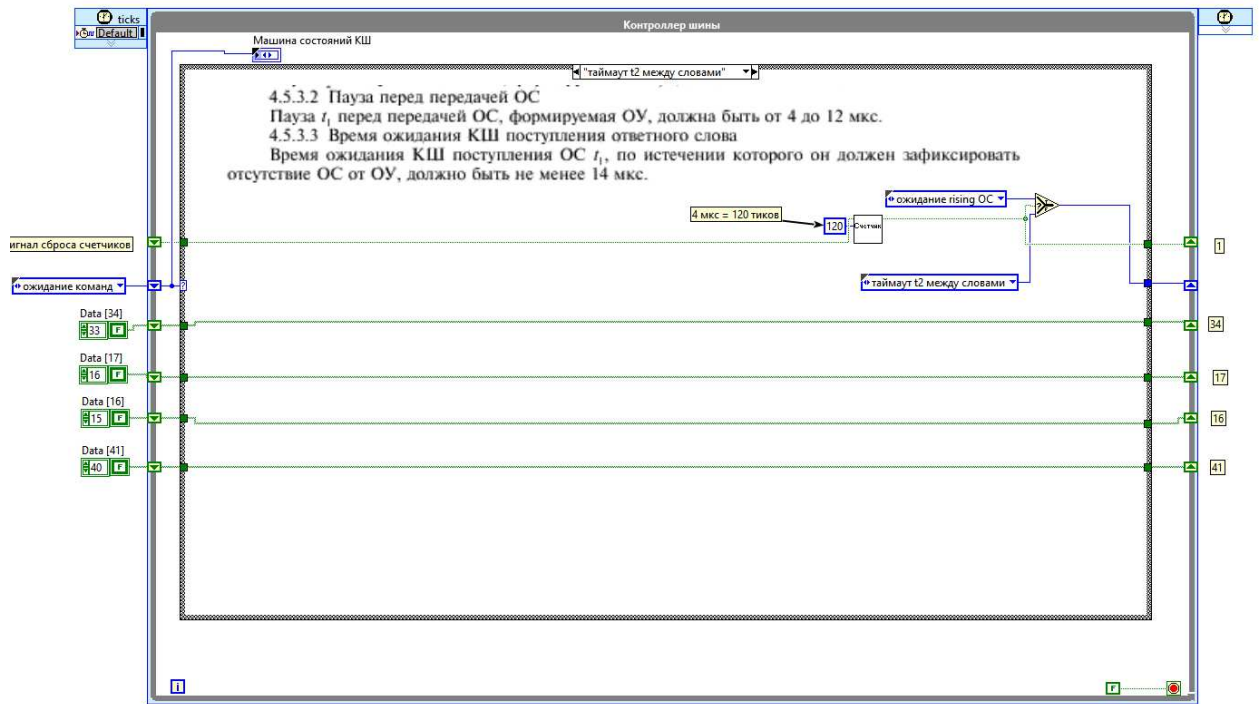


Рисунок 20 - Состояние «Таймгаут t2 между словами»

После выдержки таймгаута следующее состояние ожидание rising OC.

3.2.7 Состояние «Подготовка СД»

Преобразуем данные из массива для передачи в бинарный массив 16 бит (рисунок 21).

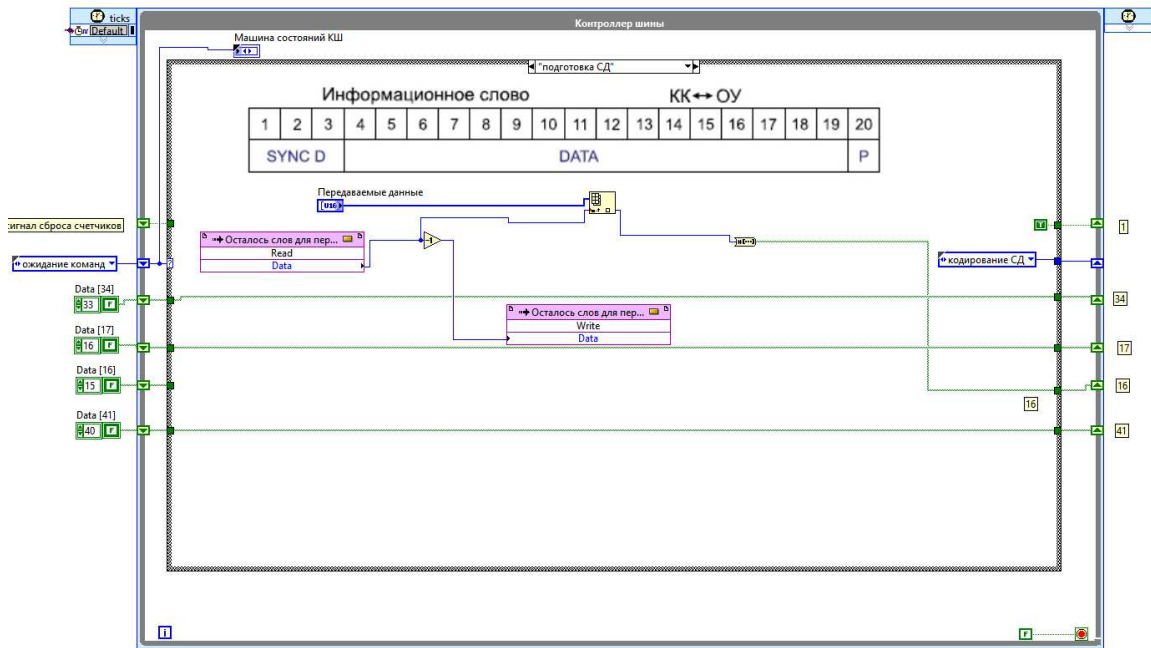


Рисунок 21 -Состояние «Подготовка СД»

3.2.8 Состояние «кодирование СД»

В этом состоянии имеется счетчик закодированных бит. Он работает аналогично состоянию «Кодер Манчестер КС» (рисунок 22).

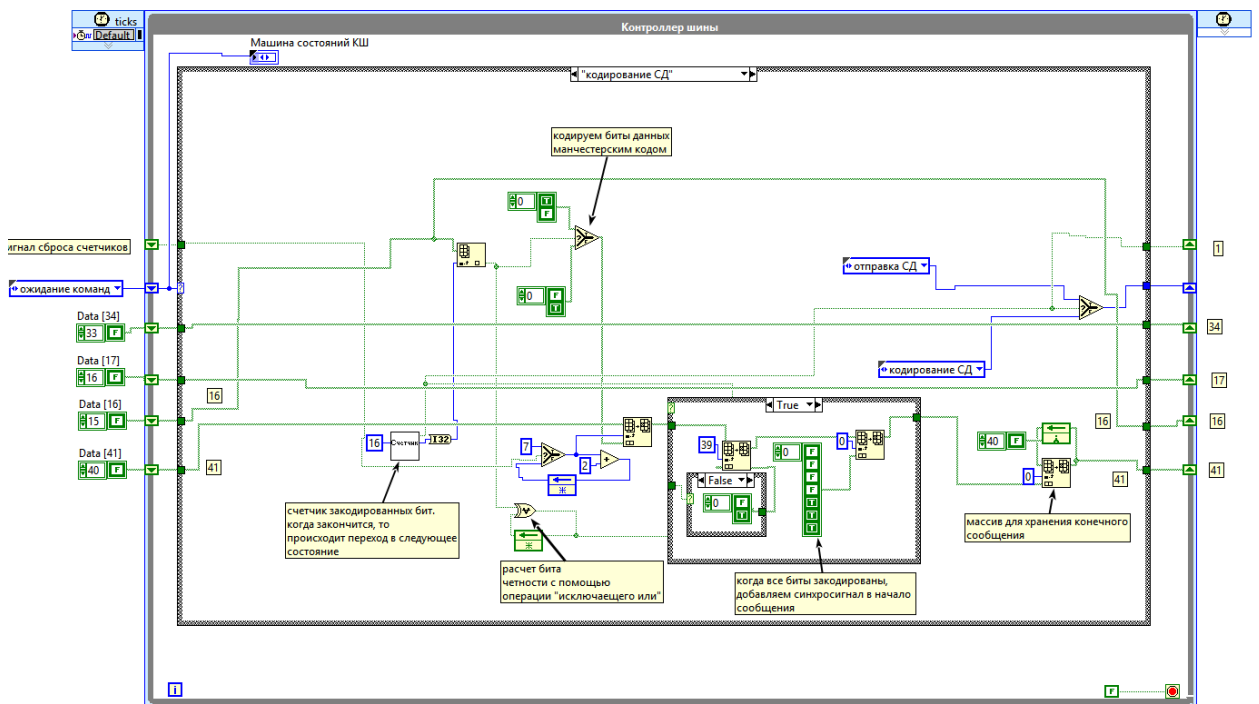


Рисунок 22 -Состояние «кодирование СД»

- "истина" кодируется битами "истина" и "ложь" идущими друг за другом;
- "ложь" кодируется битами в обратном порядке.

3.2.9 Состояние «отправка СД».

В этом состоянии работают два счетчика, аналогично состоянию передача. Также записываем данные в линию передачи TX.

Когда счетчик переданных бит достигнет конца, то выполняется проверка: если переданы не все слова данных, то возврат к подготовке следующего слова данных. В противном случае переходим к ожиданию ответного слова (рисунок 23).

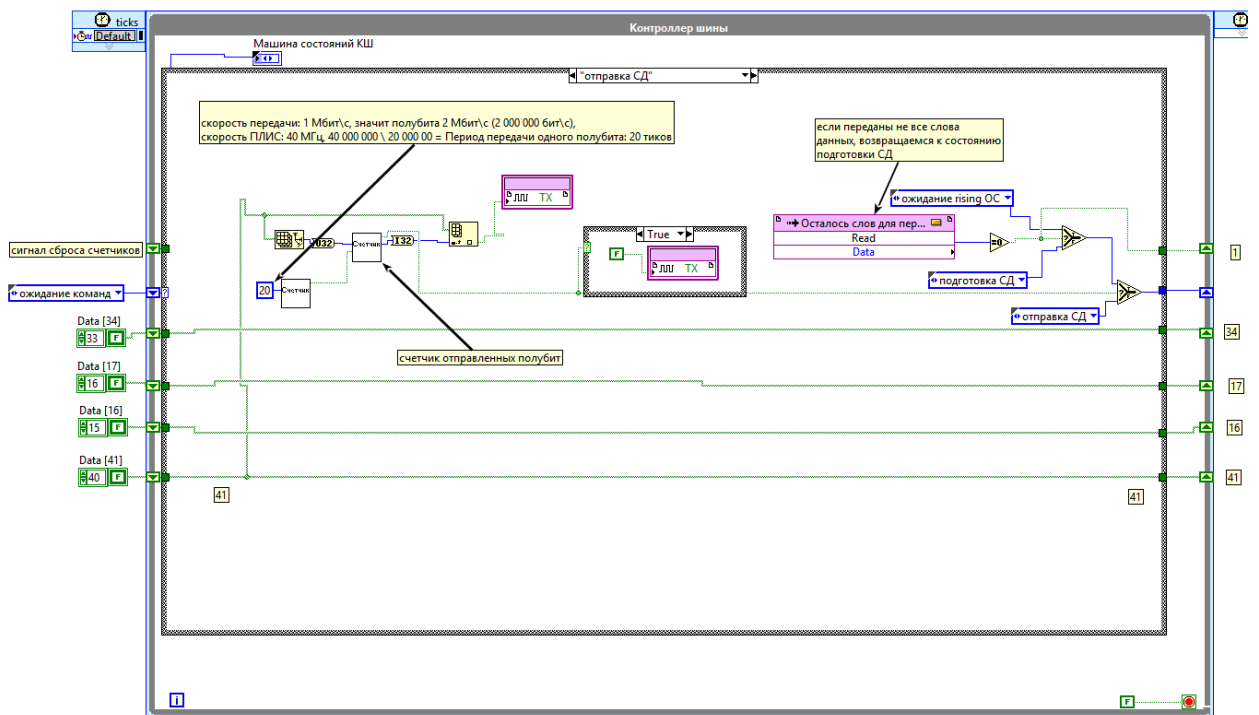


Рисунок 23 -Состояние «отправка СД».

3.2.10 Состояние «Ожидание rising OC»

В этом состоянии программа ожидает восходящего фронта что бы начать замер длительности для распознавания синхросигнала (рисунок 24).

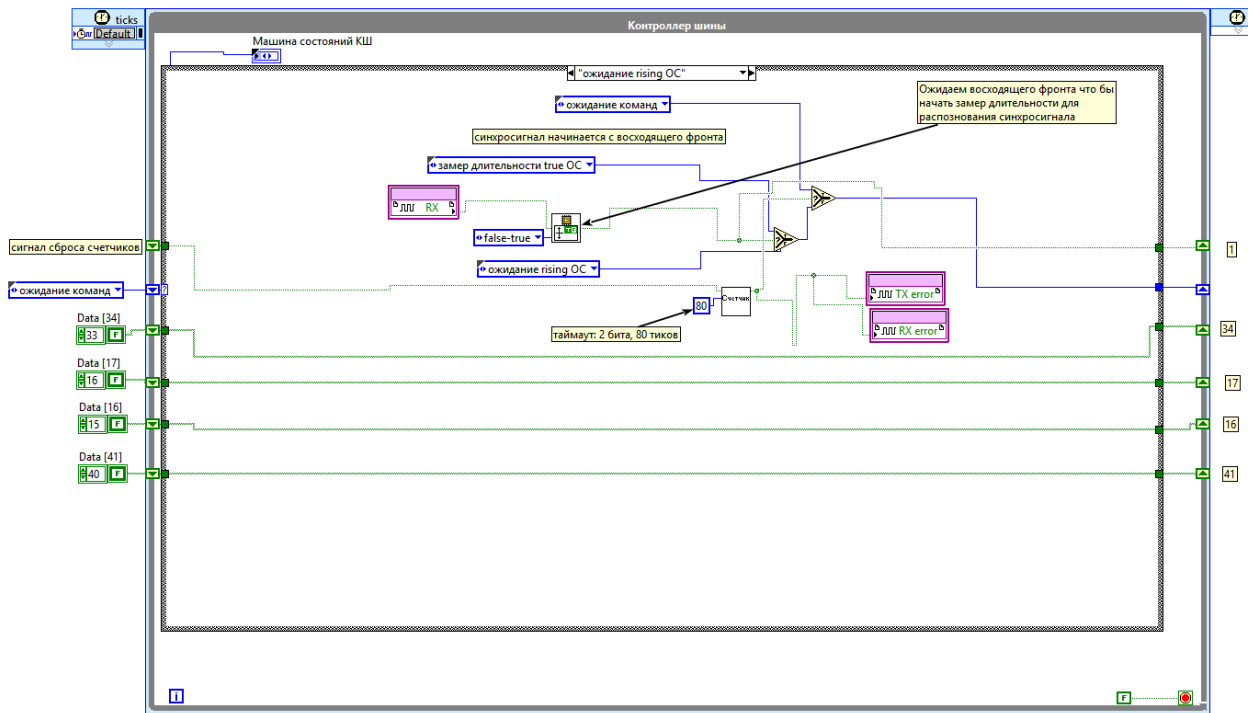


Рисунок 24 -Состояние «Ожидание rising OC»

В случае если не обнаружено импульсов в течении 2 бит (80 тиков) включаем флаг ошибки по таймауту. Если же обнаружен нарастающий фронт – переходим в состояние замер длительности true OC.

3.2.11 Состояние «Ожидание rising СД»

В этом состоянии программа ожидает восходящего фронта что бы начать замер длительности для распознавания синхросигнала слова данных (рисунок 25).

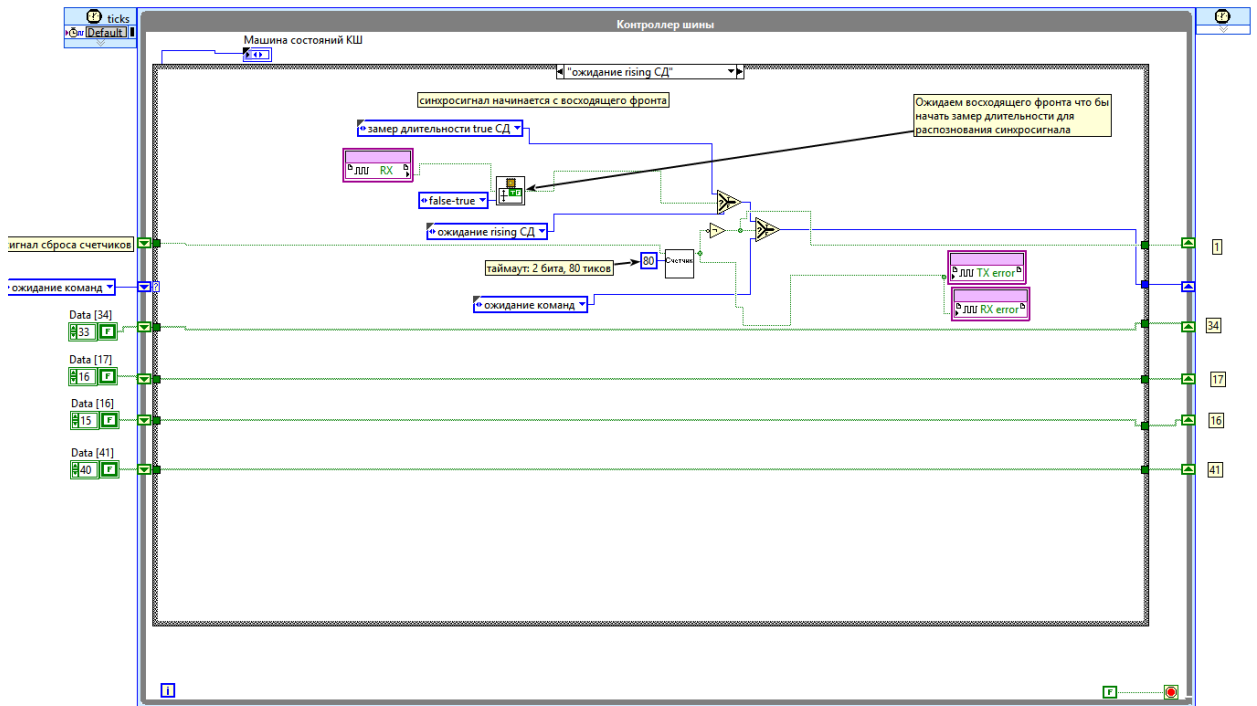


Рисунок 25 -Состояние «Ожидание rising СД»

Так же, как и в состоянии «ожидание rising ОС» в случае если не обнаружено импульсов в течении 2 бит (80 тиков) включаем флаг ошибки по таймауту. Если же обнаружен нарастающий фронт – переходим в состояние замер длительности true СД.

3.2.12 Состояние «замер длительности true ОС»

В этом состоянии программа ожидает спадающего фронта. Когда он происходит, то значение счетчика проверяется: если больше 1.5 бит – значит возможно это синхросигнал ответного слова (рисунок 26).

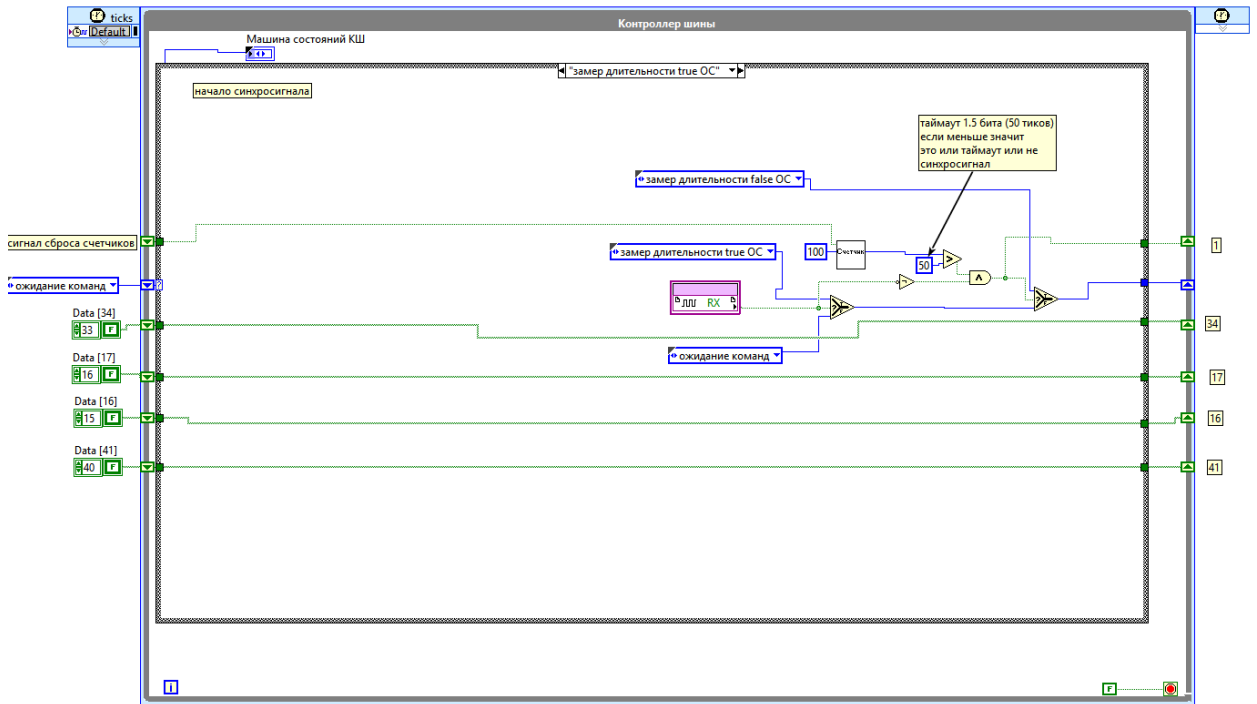


Рисунок 26 -Состояние «замер длительности true OC»

3.2.13 Состояние «замер длительности true СД»

Аналогично Состоянию «замер длительности true OC» в этом состоянии программа ожидает спадающего фронта. Когда он происходит, то значение счетчика проверяется: если больше 1.5 бит – значит это синхросигнал слова данных (рисунок 27).

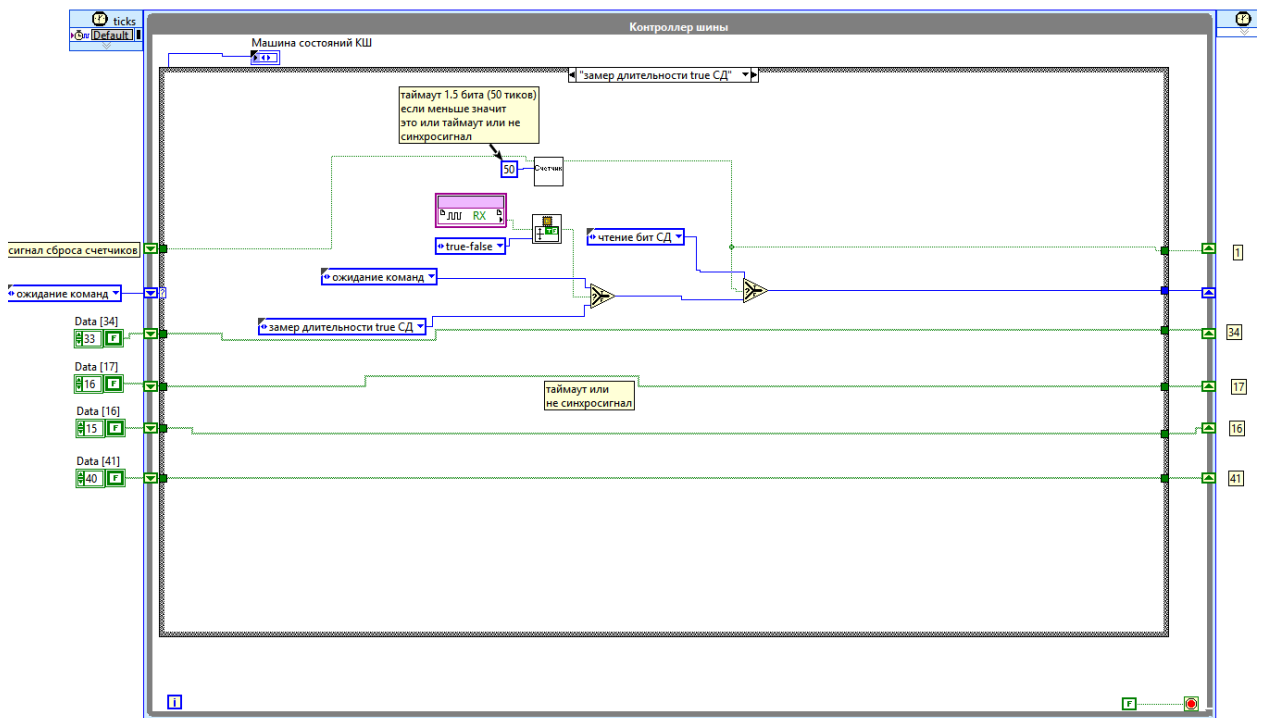


Рисунок 27 -Состояние «замер длительности true СД»

3.2.14 Состояние «Чтение бит СД»

Программа использует два счетчика: счетчик длины полубита (20 тиков) и счетчик таймаута (80 тиков). Каждые 20 тиков считывается состояние линии и записывается в массив принимаемых данных (рисунок 28).

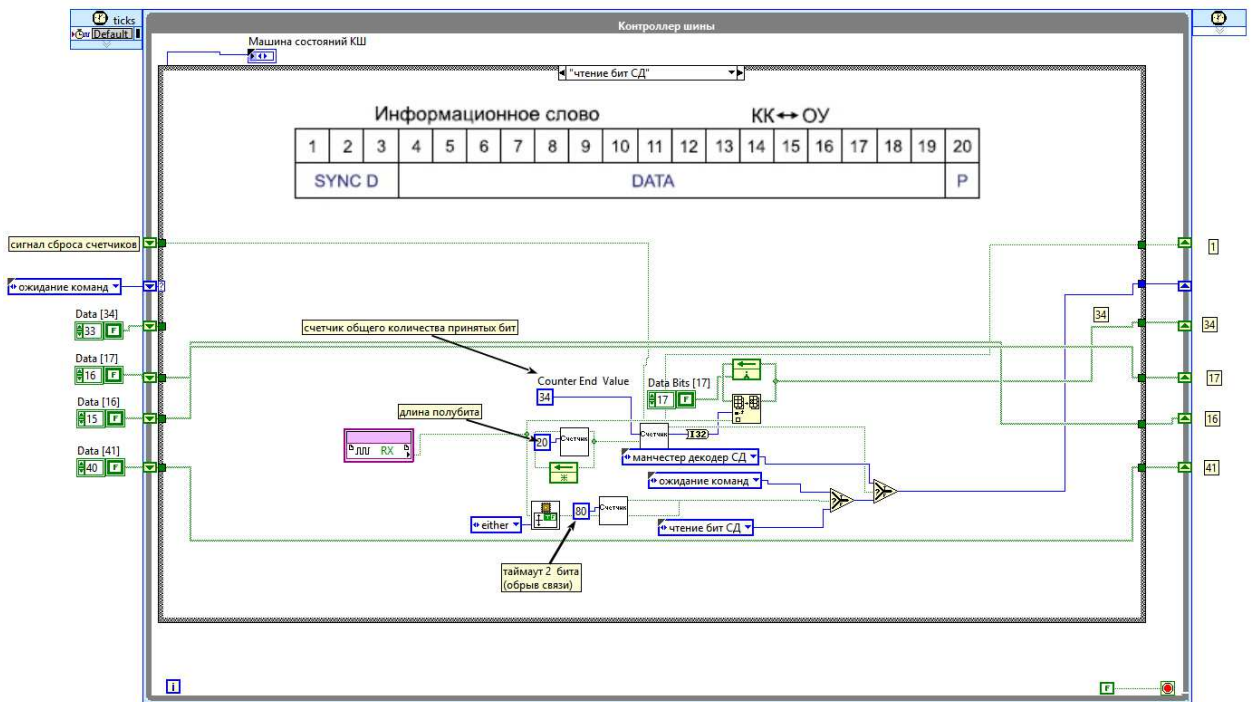


Рисунок 28 -Состояние «Чтение бит СД»

Когда счетчик принятых полубит достигнет 34, переходим в состояние манчестер декодер СД.

3.2.15 Состояние «манчестер декодер СД»

В начале состояния находится счетчик текущего бита. Он используется для считывания из принятого массива бит попарно. Далее происходит сравнение пары полубит с константами. Таким образом, преобразуем манчестерский код в биты сообщения (рисунок 29).

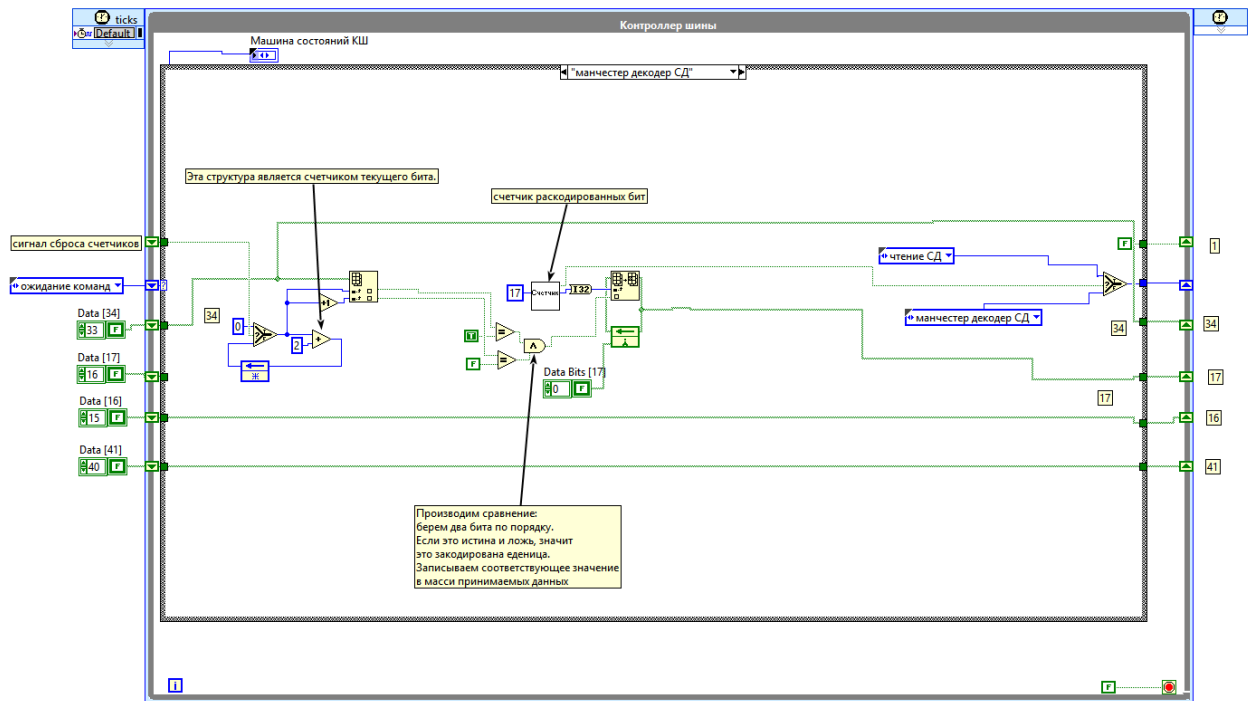


Рисунок 29 -Состояние «Манчестер декодер СД»

3.2.16 Состояние «чтение СД»

Преобразуем декодированный массив 16 бит в число. Записываем его в память принимаемых данных. Уменьшаем счетчик принятых слов данных (рисунок 30).

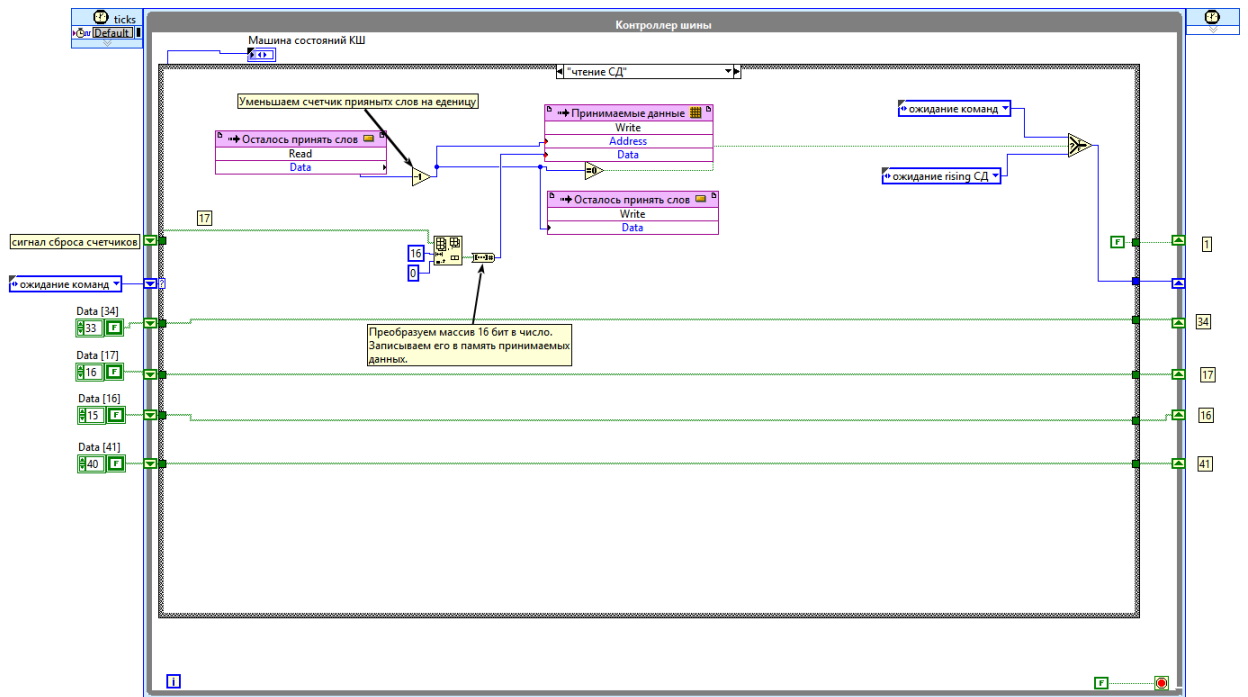


Рисунок 30 - Состояние «чтение СД»

Если счетчик достиг нуля, то транзакция завершена. Переходим в ожидания команд. В противном случае переходим в состояние поиска синхросигнала СД.

3.2.17 Состояние «Замер длительности false ОС»

Программа ожидает нарастающего фронта. Если он произошел менее чем через 1.5 бита – значит это не синхросигнал ОС. Возвращаемся в ожидание команд (рисунок 31).

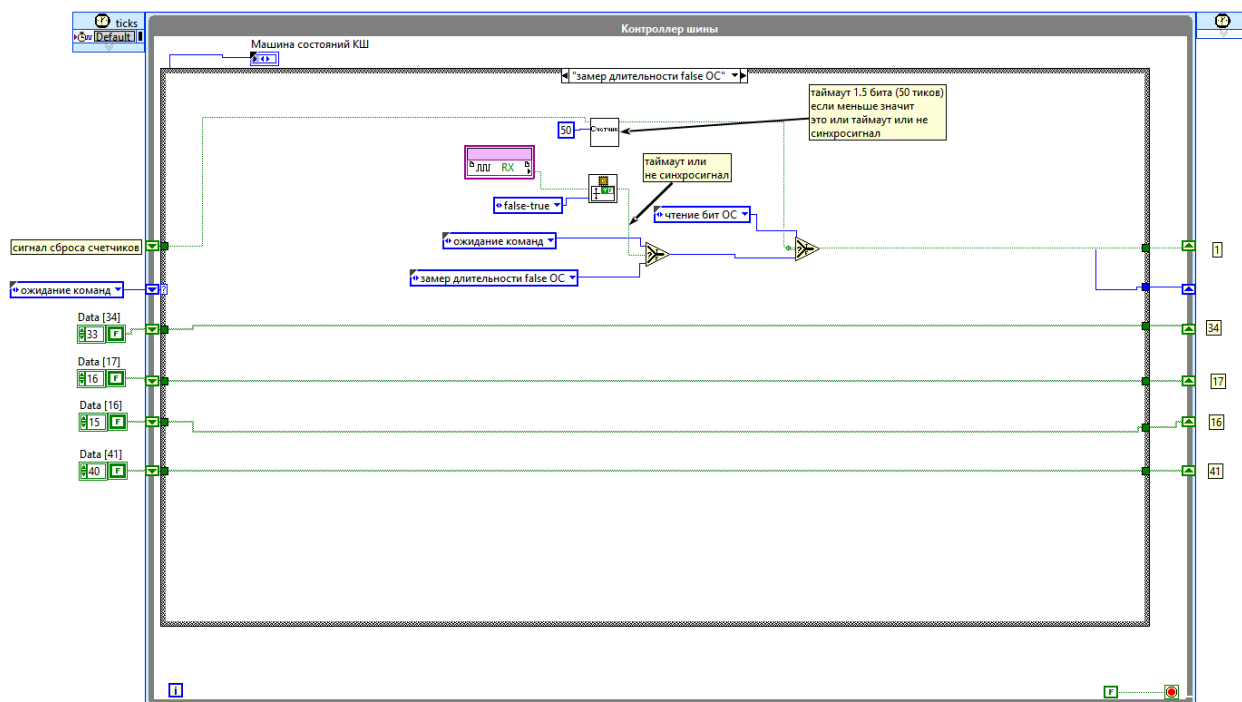


Рисунок 31 -Состояние «Замер длительности false ОС»

В противном случае переходим в состояния чтения бит ОС.

3.2.18 Состояние «чтение бит ОС»

Аналогично состоянию «Чтение бит СД» Программа использует два счетчика: счетчик длины полубита (20 тиков) и счетчик таймаута (80 тиков). Каждые 20 тиков считывается состояние линии и записывается в массив принимаемых данных (рисунок 32).

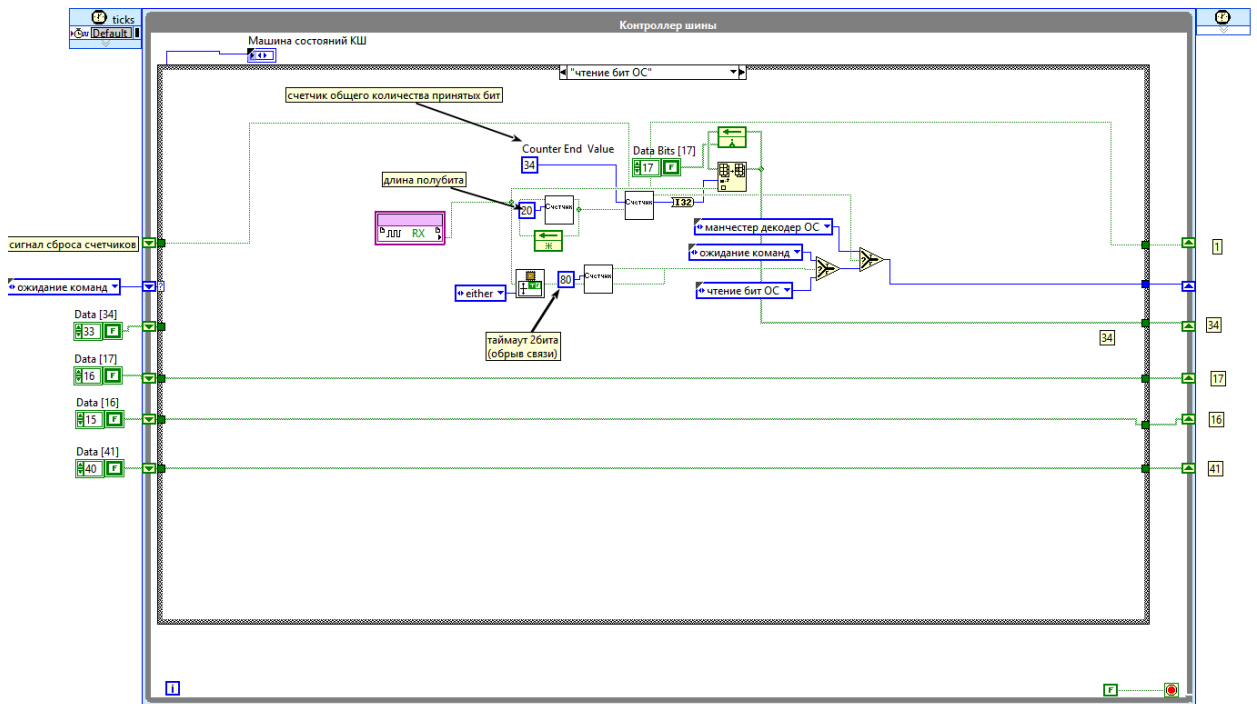


Рисунок 32 -Состояние «чтение бит ОС»

Когда счетчик принятых данных достигнет 34, переходим в состояние «Манчестер декодер ОС».

3.2.19 Состояние «Манчестер декодер ОС»

В начале состояния находится счетчик текущего бита. Он используется для считывания из принятого массива бит попарно. Далее происходит сравнение пары полубит с константами. Таким образом, преобразуем манчестерский код в биты сообщения (рисунок 33).

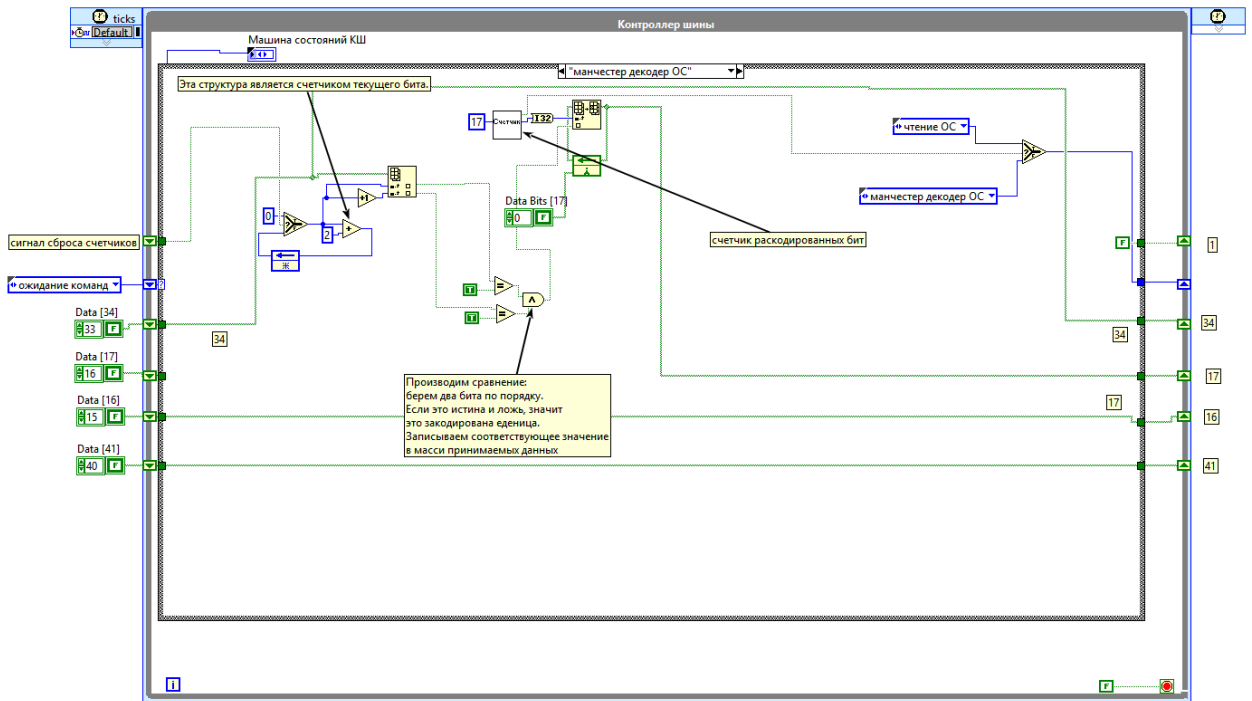


Рисунок 33 -Состояние «Манчестер декодер ОС»

После декодирования переходим в состояние чтения ОС.

3.2.20 Состояние «Чтение ОС»

В начале находится ВП «обработка ОС», в котором происходит чтение адреса ОУ, сравнение с адресом этого ОУ. А также расчет и сравнение бита четности (рисунок 34).

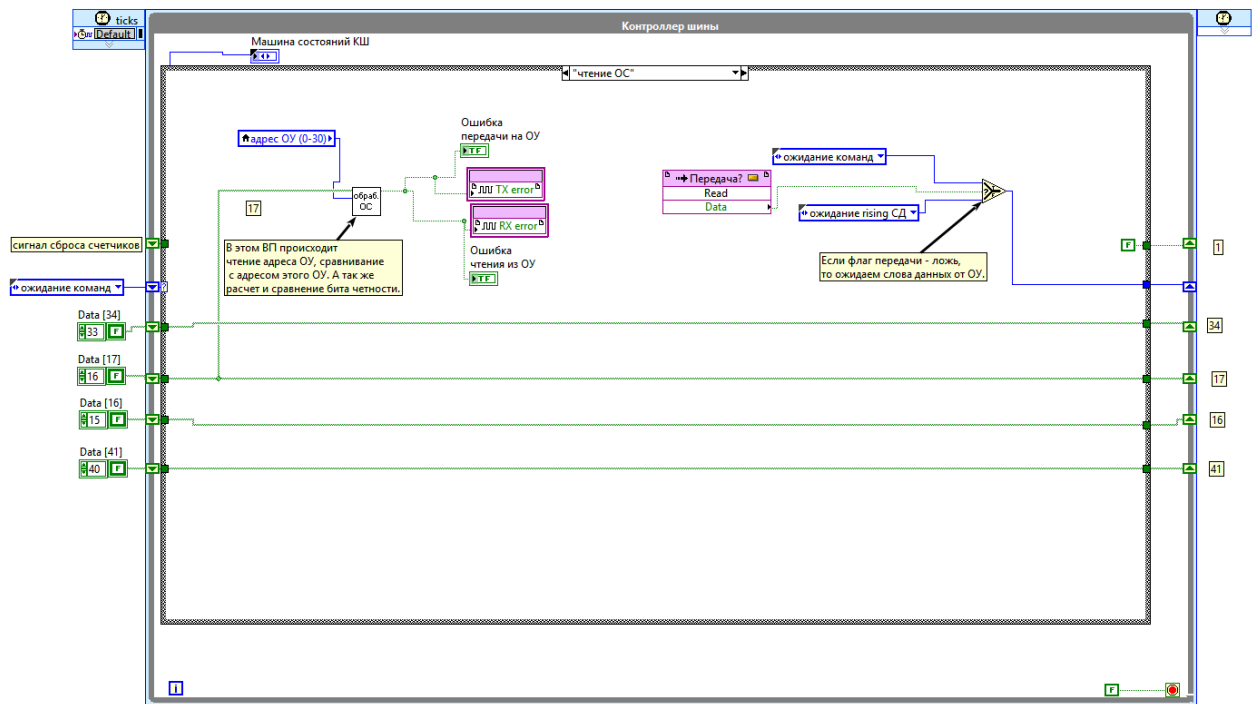


Рисунок 34 -Состояние «Чтение ОС»

В конце алгоритма происходит проверка флага передачи. Если ложь – значит переходим в состояние ожидания слов данных от ОУ.

3.3 Программа для отладки и проверки.

Проверим программу для ПЛИС, выполнив ее на компьютере с ОС Windows 10. Для этого переместим программу в дереве проекта в ветку My computer. Что бы оценить работу протокола визуально, снизим скорость передачи до 20 бит в секунду (рисунок 35).

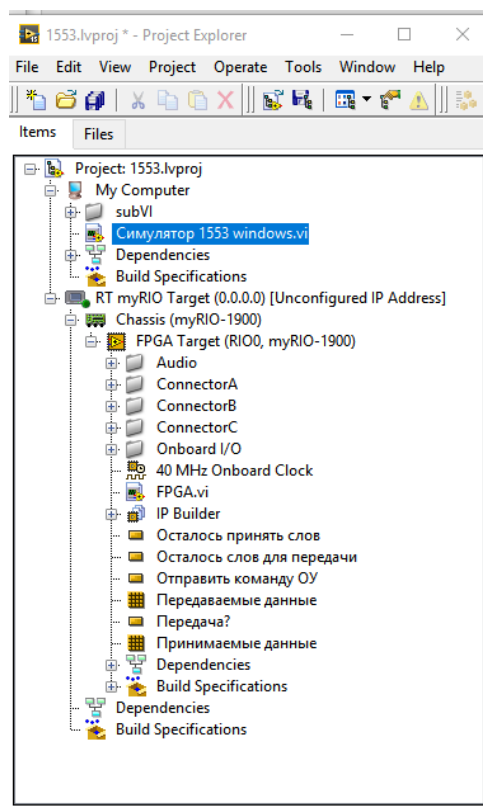


Рисунок 35 - Поиск директории

Для проверки нам понадобится разработать программу ОУ. Используем выше описанную машину состояний, для ОУ. Соединим линию приема и передачи программно. Добавим график для чтения осциллограмм (рисунок 36).

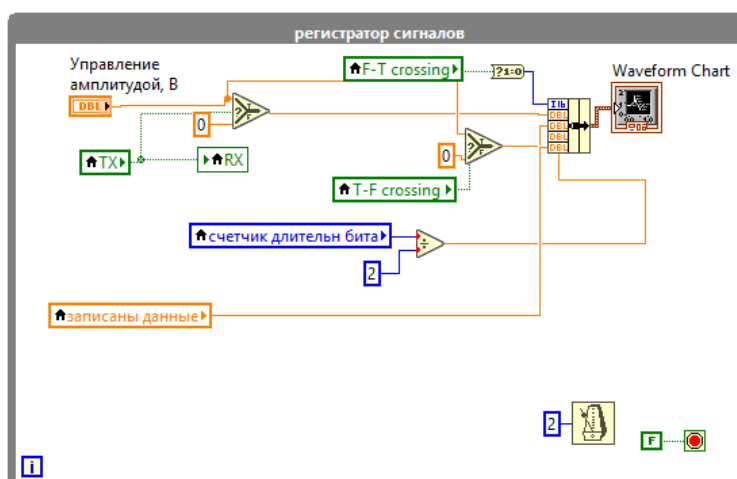


Рисунок 36 - Регистратор сигналов

В результате была разработана программа (рисунок 7)

3.3.1 Проверка режима чтения СД из ОУ.

Установим на ОУ (1) и КШ (2) один и тот же адрес ОУ. Установим нужное количество слов данных для приема (рисунок 37).

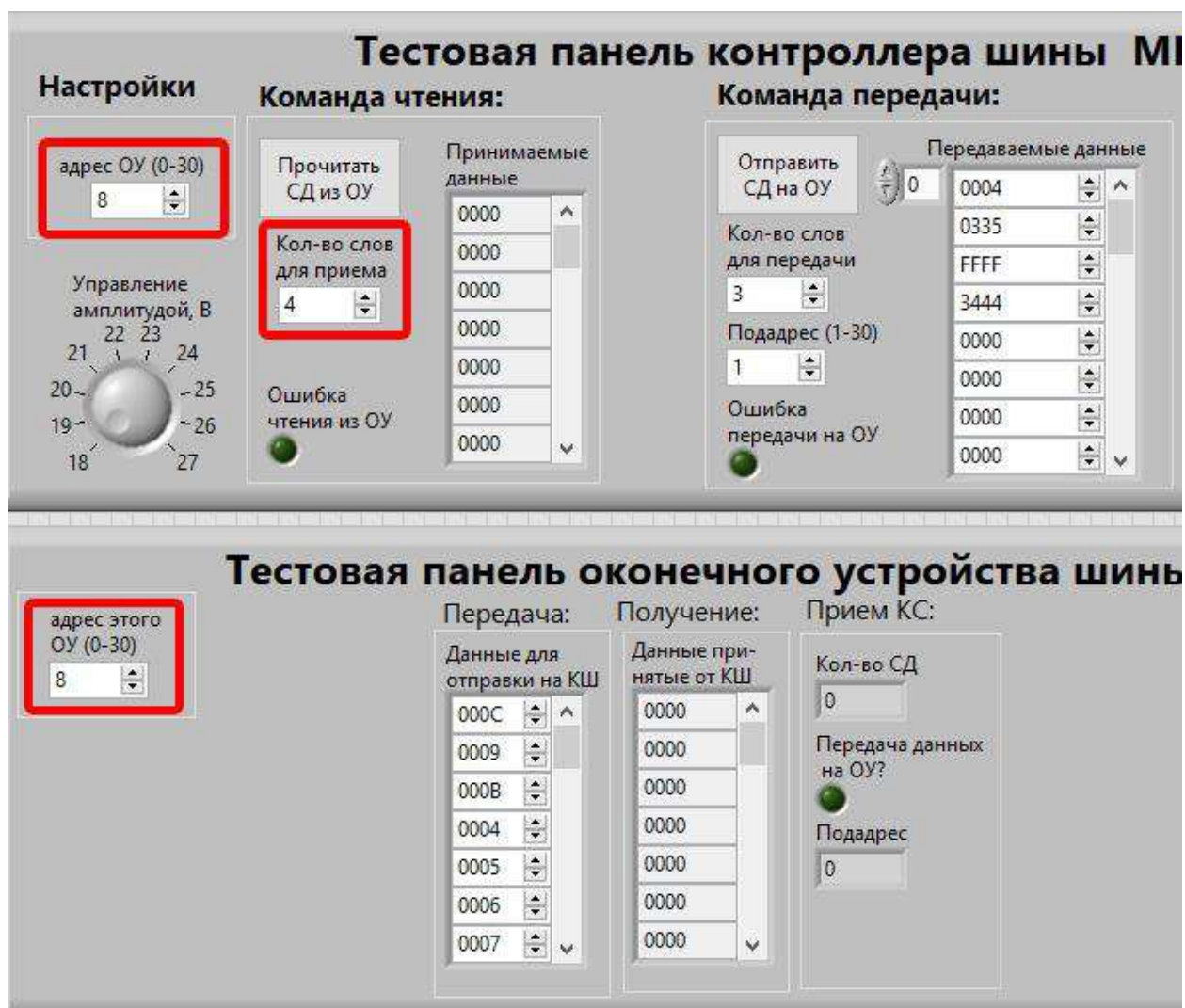


Рисунок 37 - Установка параметров

Включаем Чтение из ОУ нажатием кнопки «Прочитать СД из ОУ». Программа сгенерирует КС. Красной линией обозначено состояние линии приема\передачи (рисунок 38).

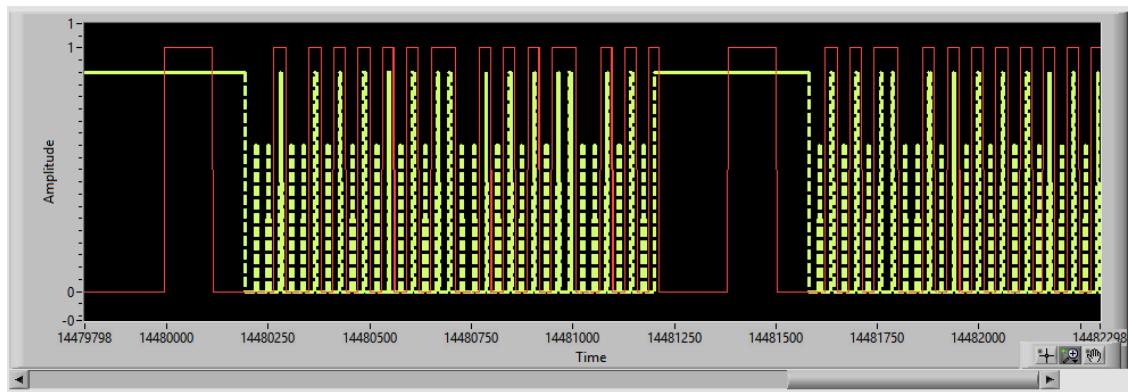


Рисунок 38 - Панель диаграмма амплитуды сигнала

Желтая линия – распознавание полубит в состояниях чтения бит. В результате мы увидим, как в окне «принимаемые данные» появятся данные из ОУ (рисунок 39).

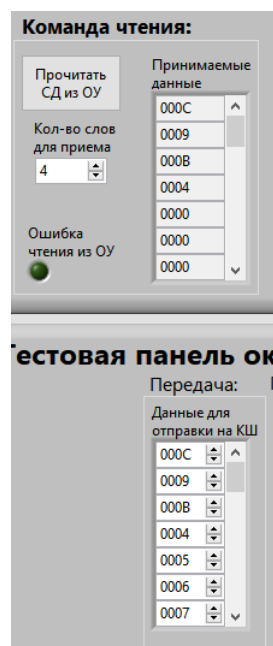


Рисунок 39 - Данные ОУ

3.3.2 Проверка режима записи СД в ОУ.

Протределаем то же самое с режимом записи (рисунок 40).

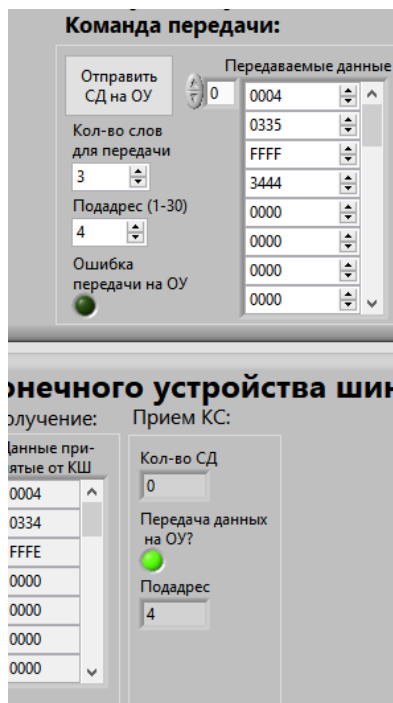


Рисунок 40 - Проверка режима записи

Проверку разработанной для ПЛИС программы можно считать успешной.

3.4 Компилирование программы под ПЛИС.

LabVIEW самостоятельно передает код в компилятор Xilinx и генерирует битфайл для загрузки на ПЛИС. Рассмотрим результат работы компилятора (рисунок 41).

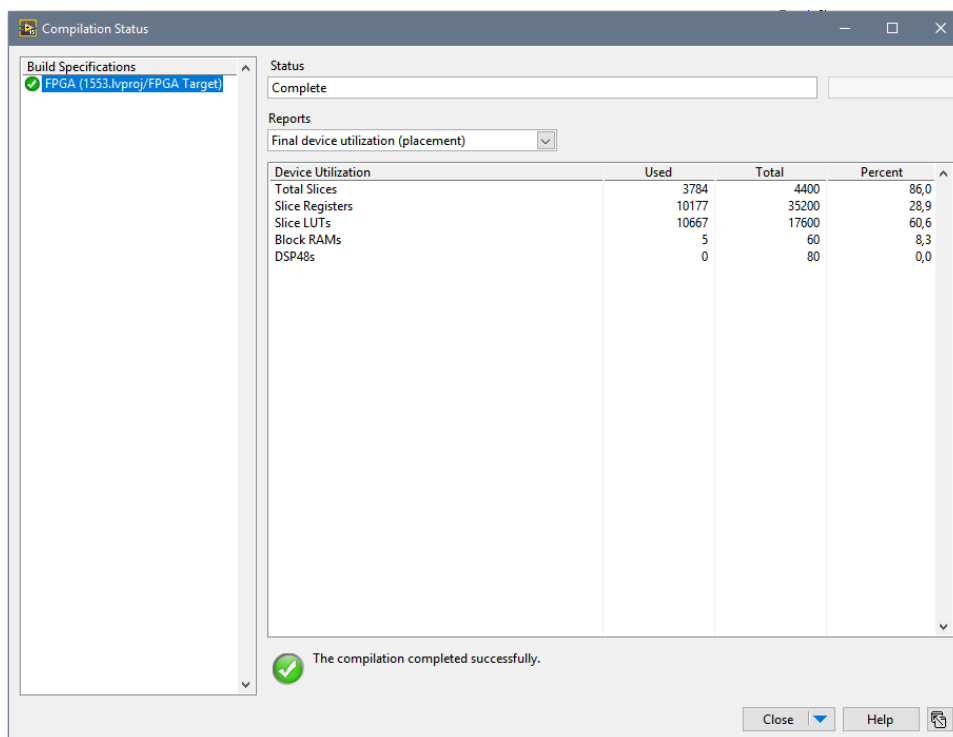


Рисунок 41 - компилятор Xilinx

Программа скомпилирована без ошибок. Использовано 86% ресурсов ПЛИС.

Подключим к выходу DIO 0 MXP A myRIO осциллограф и убедимся в работоспособности устройства, а также в правильно выбранной скорости (рисунок 42).

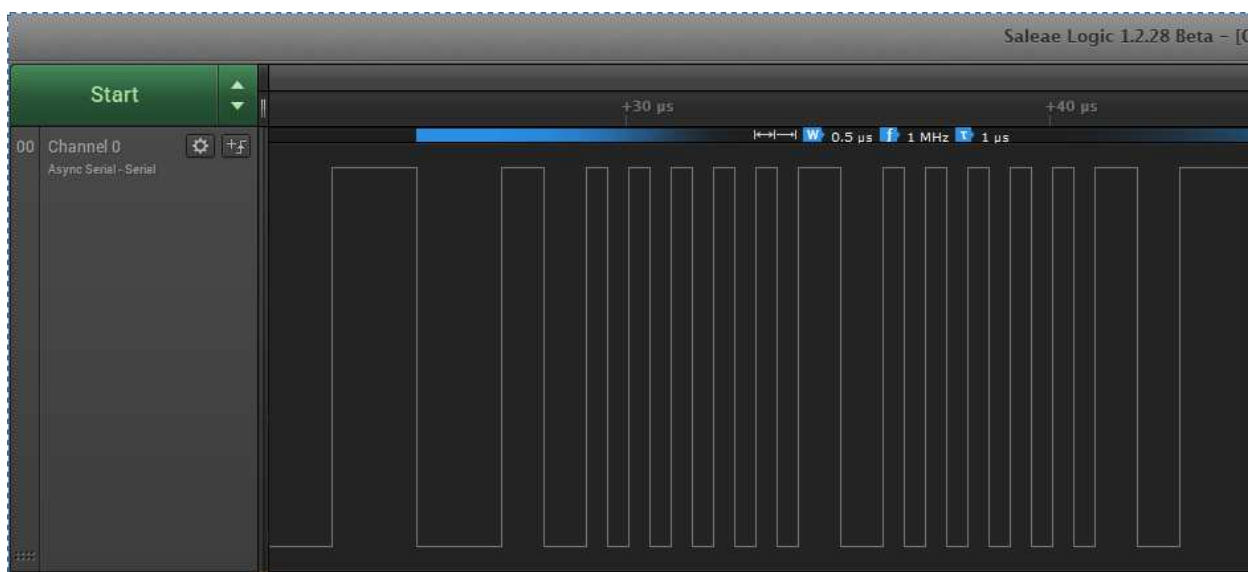


Рисунок 42 - Осциллограф

На осциллографе видно, что частота передачи данных выбрана правильно: 1 МГц. Форма сигналов соответствует стандарту. Отчетливо виден синхросигнал КС и биты данных.

3.5 Приемно-передатчик 1553 с управлением амплитудой

Для согласования уровней выходных сигналов контроллера myRIO с шиной MIL-STD-1553 был спроектирован приемно-передатчик, он нужен для приведения фронтов сигналов генератора к заданным ГОСТР 52070-2003 характеристикам, увеличение напряжения с 3.3В до напряжения линии с управлением амплитудой, а так же фильтрацию входящего сигнала и приведение его к напряжению 3.3 В.

3.5.1 Схема приемно-передатчика

На рисунке 43 представлена структурная схема приемно-передача.

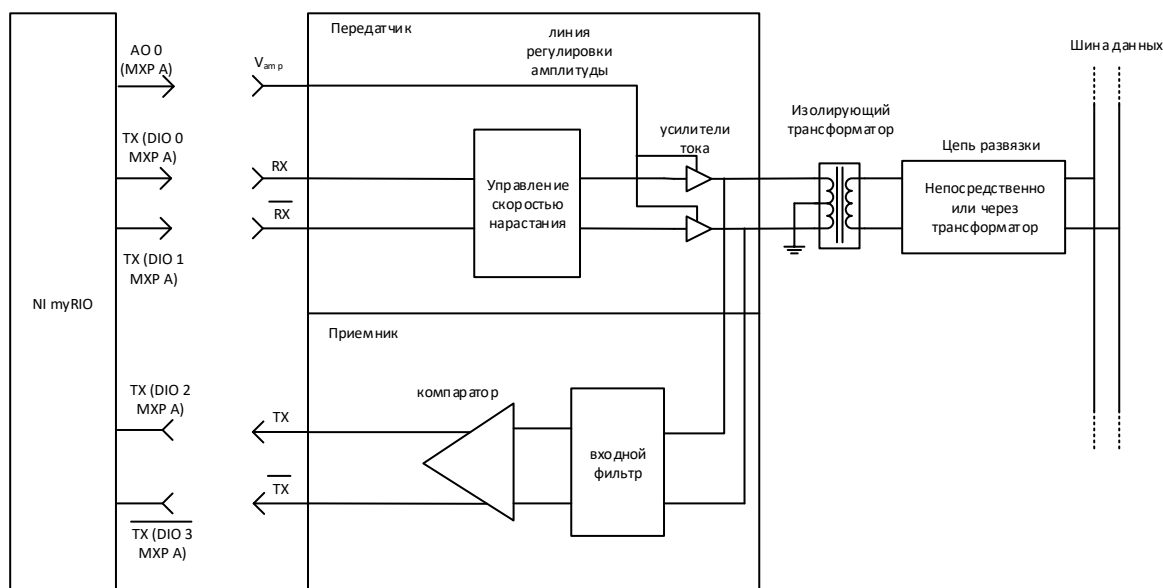


Рисунок 43– структурная схема приемно-передатчика

На схеме обозначены:

- NI myRIO: выполняет функцию кодирования и декодирования сообщений, их отправкой и приемом согласно протоколу. Так же с помощью встроенного ЦАП управляется амплитуда генерируемых сигналов;
- управление скоростью нарастания: буфер предназначен для приведения фронтов сигналов передатчика в надлежащий стандарту вид, учитывая емкость, индуктивность и сопротивление усилителей тока и трансформатора;
- усилители тока: усиливают ток с передающего буфера до значений, достаточных для работы изолирующего трансформатора. Так же имеют схему питания, регулируемую внешним напряжением;
- входной фильтр: отсекает частоты выше и ниже 2 МГц, для уменьшения помех;
- компаратор: преобразует аналоговый сигнал с трансформатора в сигнал логического уровня 3.3 В.

Рассмотрим каждый из блоков подробно.

3.5.2 Контроллер NI MyRIO

Контроллер NI MyRIO имеет цифровые входы и выходы с логикой LVTTTL, напряжением 3.3 Вольта. Имеется две линии передачи данных TX и TXinv (инверсный).

Управление 12ти битным ЦАП осуществляется установкой уровня от 0 до 4096, что соответствует выходному напряжению от 0 до 5 вольт.

3.5.3 Управление скоростью нарастания

Для управления скоростью нарастания используем двухканальный буфер NC7WZ16P6X (рисунок 44).

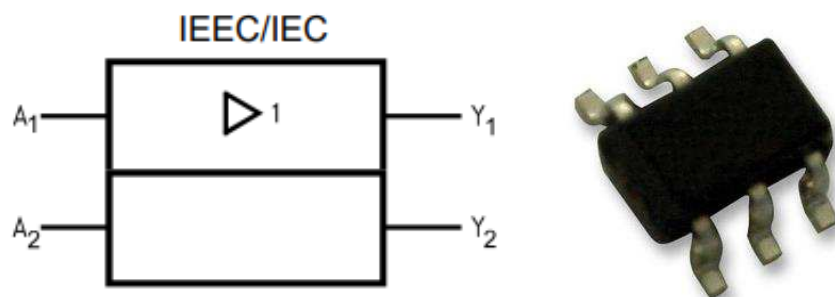


Рисунок 44 - Микросхема NC7WZ16P6X

NC7WZ16P6X - это микросхема с двойным буфером TinyLogic® UHS. Это устройство изготовлено с использованием передовой технологии CMOS для достижения сверхвысокой скорости с высокопроизводительным драйвером при сохранении низкого рассеивания статической мощности в очень широком рабочем диапазоне напряжения питания. Входы и выходы имеют высокий импеданс, когда напряжение питания равно нулю. Входы выдерживают напряжение до 7 В независимо от рабочего напряжения питания.

- время падения\нарастания 2,4 нс. Емкость 50 пФ при 5 В;
- ток драйвера ± 24 мА при питании 3 В;
- напряжение питания от 1,65 до 5,5 В;
- отключение высокоимпедансных входов / выходов;
- входы допускают перенапряжения как для 5 В логики, так и для 3 В;
- запатентованная схема снижения шума / электромагнитных помех.

3.5.4 Регулятор напряжения

На выходе усилителя необходимо получить регулируемую амплитуду сигнала. Причем на входе напряжение составляет от 0 до 5 В, а на выходе должно составлять от 16 до 27 Вольт.

Используем для усиления операционный усилитель. Для прямого входа ТХ используем не инвертирующую схему, а для инверсного – инвертирующую (рисунок 45).

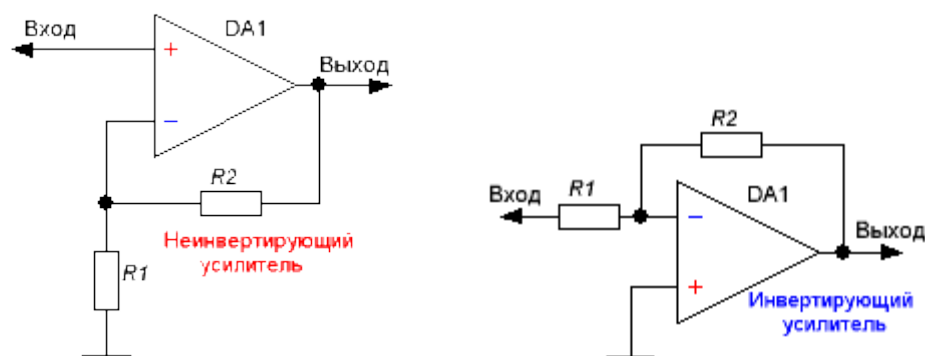


Рисунок 45 – Схема операционных усилителей

Рассчитаем номиналы сопротивлений:

Усиление:

$$G = \frac{R2}{R1} + 1, \quad (1)$$

где G – коэффициент усиления;

$R2$ – номинал сопротивления резистора $R2$;

$R1$ – номинал сопротивления резистора $R1$.

Для коэффициента усиления 6, номинал $R2$ будет равен 10 кОм, а для $R1$ 1.667 кОм. В соответствии с номиналами резисторов, пересчитаем коэффициент для резистора 1.8 кОм. $G=5.552$

Таким образом, чтобы регулировать напряжение амплитуды сигнала от 18 до 27 В допускается напряжение аналогового выхода μRIO регулировать от 3.242 до 4.863 В.

3.5.5 Усилитель тока

В качестве усилителя тока используем операционный усилитель в режиме повторителя. Для Прямого выхода – в не инвертирующей схеме, для инверсного – по инвертирующей схеме (рисунок 46).

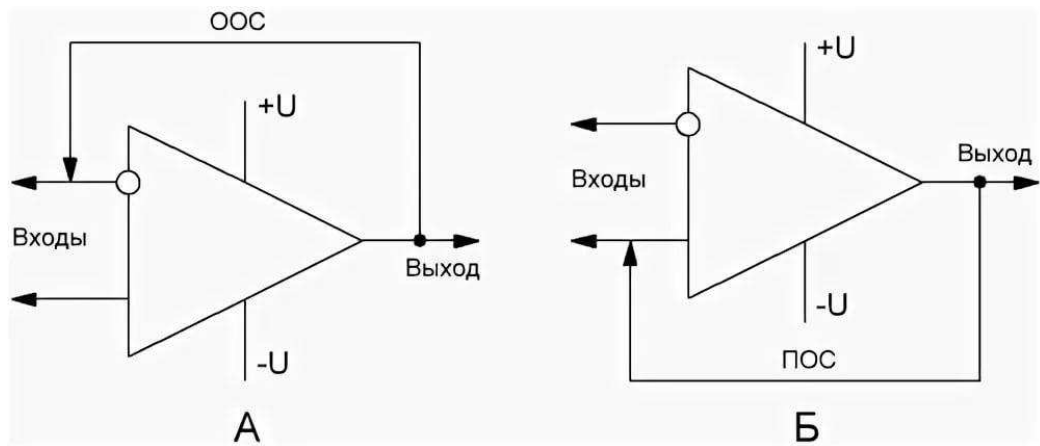


Рисунок 46 - Схема операционного усилителя в режиме повторителя

Питать усилитель будем от регулятора напряжения. Например, можно использовать операционный усилитель TL062CDT (рисунок 47).

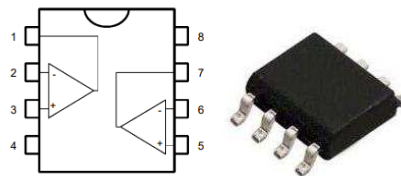


Рисунок 47 - Операционный усилитель TL062CDT

- напряжение питания, В ± 30 ;
- температурный диапазон, С $0 \dots +70$;
- частота, МГц 2;
- количество каналов 2;
- напряжение смещения, мкВ 3.

3.5.6 Входной фильтр

Для получения более крутых скатов АЧХ используют два или более Г-образных звеньев, соединяя их последовательно, чтобы образовать Т-образное звено или П-образное звено. При этом получаются фильтр нижних частот (ФНЧ) третьего порядка (рисунок 48).

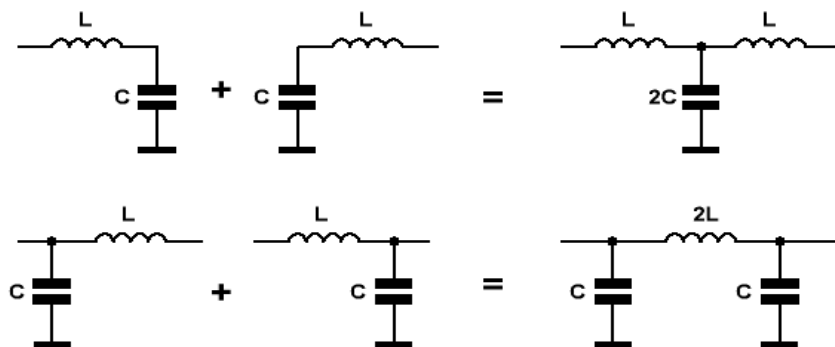


Рисунок 48 - Схема фильтра нижних частот

Воспользуемся онлайн калькулятором что бы рассчитать фильтр с частотой 2 МГц (рисунок 49).

Характеристика фильтра	ФНЧ ▾	
Частота среза фильтра $F_{ср.}$	2	Мегагерц ▾
Характеристическое сопротивление ρ (Ом)	1	
<input type="button" value="Вычислить"/>		
Индуктивность катушки L1	0.11	Микрогенри
Ёмкость конденсатора C1	112.54	Нанофарад

Рисунок 49 - Онлайн калькулятор LC фильтров

3.5.7 Компаратор

Для преобразования амплитуды сигнала шины в приемлемый для входов μRIO сигнал воспользуемся компаратором на базе операционного усилителя (рисунок 50).

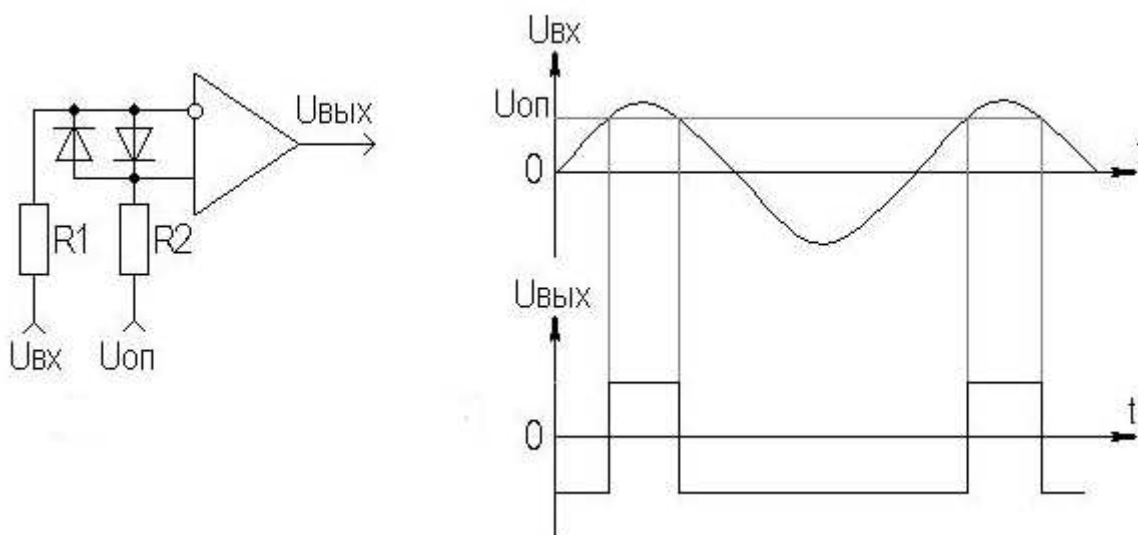


Рисунок 50 - Схема компаратора и его передаточная характеристика

Алгоритм работы компаратора описывается выражениями:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U^1, \text{ если } U_{\text{ВХ}} < U_{\text{ОН}}, \quad (2)$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = U^0, \text{ если } U_{\text{ВХ}} > U_{\text{ОН}}, \quad (3)$$

где $U_{\text{ВЫХ}}$ – выходное напряжение;

$U_{\text{ВХ}}$ – входное напряжение;

$U_{\text{ОН}}$ – опорное напряжение.

Опорное напряжение необходимо выбрать на уровне 15 Вольт.

3.5.8 Интерфейс с шиной MIL-STD-1553

Интерфейс с непосредственной связью использует изолирующий трансформатор с коэффициентом 1:2,5 и два изолирующих сопротивления 55 Ом между трансформатором и шиной. Центральный отвод первичной обмотки трансформатора должен быть подключён к земле.

В интерфейсе с трансформаторной связью приёмопередатчик также подключён к изолирующему трансформатору с коэффициентом 1:2,5, который,

в свою очередь, соединён с развязывающим трансформатором с коэффициентом 1:1,4. Метод трансформаторной развязки также требует двух резисторов с сопротивлением, равным 75% от характеристического импеданса между развязывающим трансформатором и шиной (рисунок 51).

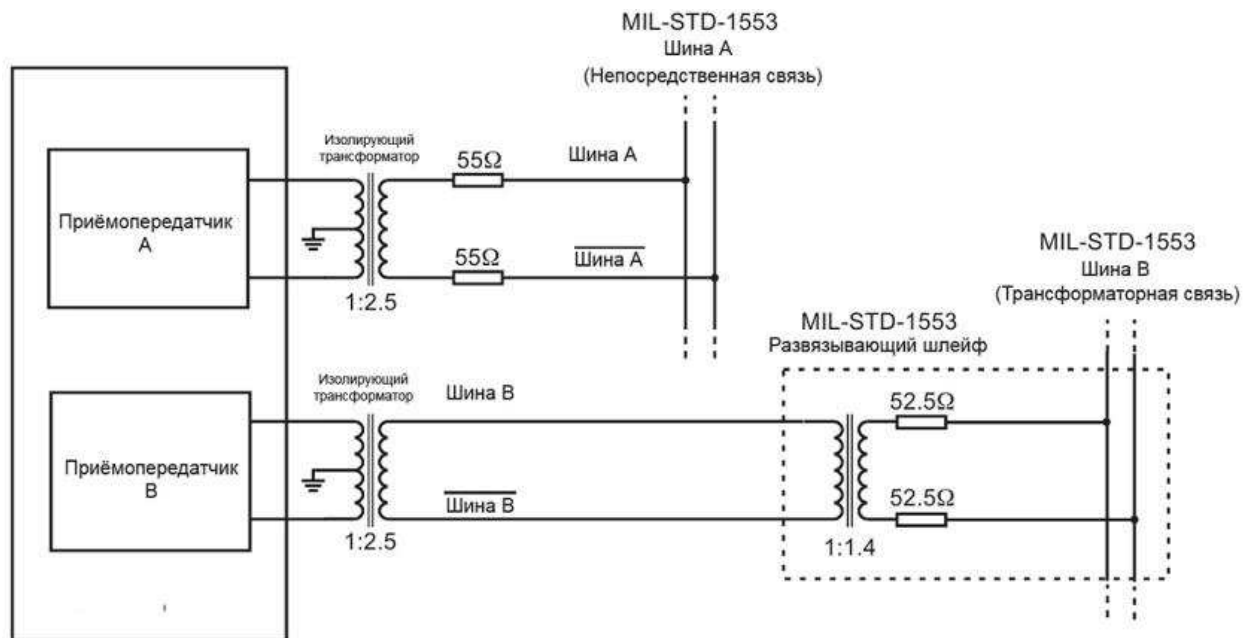


Рисунок 51 - Схема интерфейса с шиной MIL-STD-1553

3.6 Вывод

В данной главе был рассмотрен процесс реализации контроллера мультимплексного канала обмена с функцией управления амплитудой сигнала на основе предложенной системы формирования цифрового сигнала мультимплексного канала обмена. Подробно разобран каждый аспект моделирования проекта, в частности:

- лицевые панели и их функционал;
- пошаговые состояния КШ и ОУ.

Были проведены тесты программы, как на ПК так и на ПЛИС.

Так же внимание было уделено аспекту управления амплитудой сигнала с помощью приемо-передатчика и его подробный разбор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы были разработаны аппаратная и программная составляющие системы формирования цифрового сигнала мультиплексного канала обмена на базе аппаратуры NI myRIO.

Ввиду нехватки мощности передающих устройств NI myRIO разработан и предложен один из вариантов реализации функции управления амплитудой сигнала МКО с использованием разработанной системы формирования цифрового сигнала МКО и дополнительной компонентной базы.

Проведенные тесты показали, что разработанная система формирования цифрового сигнала МКО соответствует ГОСТ Р 52017-2003 в части требований к реализации кодировки Манчестер-2 и временных промежутков, что обусловлено применением гибко управляемой аппаратной составляющей предложенных решений на основе программируемой логической интегральной схемы.

Таким образом, поставленные цели и задачи были решены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Промышленные сети на базе стандарта MIL-STD-1553В С. Хвощ, Х.Х. Амаду (стр. 42-45) [Электронный ресурс] режим доступа: <https://www.cta.ru/cms/f/366607.pdf> (дата обращения: 08.02.2019).
2. Реализация протокола MIL-STD-1553 на STM32 [Электронный ресурс] режим доступа: <https://habr.com/ru/post/316430/> (дата обращения: 08.02.2019).
3. АО «Элкус» Интерфейсный модуль ТЕ6-РСІ [Электронный ресурс] режим доступа: http://www.elcus.ru/files/mil-std/te1-pci_to.pdf (дата обращения: 08.02.2019).
4. АО «Элкус» Продукция ПЛАТЫ [Электронный ресурс] режим доступа: <http://www.elcus.ru/boards.php?ID=rou-400#> (дата обращения: 08.02.2019).
5. АО «Элкус» О предприятии [Электронный ресурс] режим доступа: <http://www.elcus.ru/index.php?ID=about> (дата обращения: 08.02.2019).
6. НТЦ «Модуль» О предприятии [Электронный ресурс] режим доступа: <https://www.module.ru/company/> (дата обращения: 08.02.2019).
7. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей [Электронный ресурс] режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52070-2003> (дата обращения: 09.05.2019).
8. Использование МКО бортовых цифровых вычислительных систем для наземных испытаний космических аппаратов - Л. М. Лукьянов, Э.С.Подлесный [Электронный ресурс] режим доступа: <http://jurnal.vniiem.ru/text/100/6.pdf> (дата обращения: 09.05.2019).
9. Модуль МВ 26. 16 – Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] режим доступа: <https://www.module.ru/upload/files/ruk2616.pdf> (дата обращения: 09.05.2019).
10. LabVIEW. Возможности и перспективы развития [Электронный ресурс] режим доступа: <http://mirznanii.com/a/112712/labview-vozmozhnosti-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 09.05.2019).

11. Базовое руководство по проектам NI myRIO - Эд Доуринг, Роуз-Халман [Электронный ресурс] режим доступа: http://training-labview.ru/templates/standard/opencore/scormMyRIO/myRIO_project_essentials_guide.pdf (дата обращения: 09.05.2019).

12. Онлайн калькулятор расчёта LC – фильтров [Электронный ресурс] режим доступа: <https://vpayem.ru/information6.html> (дата обращения: 23.05.2019).

13. Учебное пособие National Instruments myRIO [Электронный ресурс] режим доступа: http://russia.ni.com/sites/default/files/NI%20myRIO%20начало%20работы%20rus_0.pdf (дата обращения: 23.05.2019).

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
О. В. Непомнящий
подпись инициалы, фамилия
« 28 » 06 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.01 Информатика и вычислительная техника
код и наименование направления

Контроллер мультиплексного канала обмена с функцией управления
амплитудой сигнала
тема

Руководитель	<u>Игорь</u> 27.06.19 подпись, дата	ст. преподаватель, канд. тех. наук	<u>Д. А. Недорезов</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<u>К. Е. Байправ</u> 26.06.2019 подпись, дата		<u>К. Е. Байправ</u> инициалы, фамилия
Консультант	<u>Л. И. Покидышева</u> 26.06.19 подпись, дата	доцент, канд. техн. наук	<u>Л. И. Покидышева</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	<u>В. И. Иванов</u> 27.06.19 подпись, дата	доцент, канд. техн. наук	<u>В. И. Иванов</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2019