



Преобразователи напряжения измерительные

L-CARD

E20-10

E20-10-1

E20-10-D

E20-10-D-1

E20-10-D-I

E20-10-D-1-I

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

USB 2.0 модуль АЦП, 4 канала

Непрерывный сбор данных АЦП (до 10 МГц, 14 бит)

Возможность внешней и многомодульной синхронизации

Асинхронный цифровой ввод-вывод

Асинхронный 2-канальный ЦАП (опция)

Ревизия документа 2.02.03

Июль 2022

Автор руководства:

Гарманов А.В.

ООО "Л КАРД"

117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 5, корп. 4, стр. 2

тел.: (495) 785-95-25 факс: (495) 785-95-14

Адреса в Интернет:

<http://www.lcard.ru>

E-Mail:

Отдел продаж: sale@lcard.ru

Техническая поддержка: support@lcard.ru

Отдел кадров: job@lcard.ru

Общие вопросы: lcard@lcard.ru

Модуль **E20-10**

© Copyright 2005-2022, ООО "Л Кард". Все права защищены



История ревизий настоящего документа

Ревизия руководства	Дата	Примечания по внесённым изменениям
1.00.02 – 1.00.07	05-2006 - 05-2007	Руководство по E20-10 ревизии А, выпуск которых закончен в конце 2007 г.
2.00.01	04-2008	Руководство значительно дополнено, доработано в связи с добавлением многочисленных сведений о E20-10 ревизии В
2.00.02	04-2008	Дополнена табл. п. 7.3 , введён п. 3.3.4 , дополнена табл. 5-5. , исправлена ошибка в табл. 6-3
2.00.03	09-2008	Дополнены сведения об обновлении прошивки FPGA (п. 3.3.4)
2.00.04	10-2008	Добавлена поясняющая картинка в п. 4.4
2.00.05	10-2008	Дополнены сведения об обновлении прошивки FPGA (п. 3.3.4)
2.00.06	04-2009	Введены изменения и дополнения в систему обозначений вариантов исполнения E20-10 (п. 3.3.2)
2.00.07	12-2009	Получил новую редакцию п. 6.5.4.3
2.00.08	06-2010	Дополнен п. 7.1.4
2.00.09	07-2010	Отредактирован п. 6.3
2.00.10	06-2011	Отредактирован п. 5.2.2 . Добавлен п. 6.5.5
2.00.11	03-2012	Незначительные изменения оформления
2.00.12	09-2012	Увеличен размер кадра АЦП до 8192 отсчётов! В табл. 7.1 добавлена характеристика: <i>Смещение нуля при неподключенном входе АЦП</i>
2.00.13	11-2012	Дополнены сведения в п. 3.3.4
2.00.14	02-2013	Внесены сведения о ревизии В.01. (п. 2.1)
2.00.15	03-2013	Отредактирован п. 2.1
2.00.16	01-2014	Отредактирован п. 6.5.1
2.00.17	02-2014	Дополнены табл. 6-7 , п. 7.4 , п. 6.5.1
2.00.18	12-2014	Добавлены сведения о новой прошивке 2.00.10, п. 3.3.4
2.01.00	10-2017	Добавлены промышленные варианты исполнения. Приведены в соответствие характеристики по результатам подготовки семейства <i>Преобразователей напряжения измерительных L-CARD</i> к сертификации как Средства Измерения
2.01.01	02-2018	П. 1.1 дополнен информацией о внесении в Госреестр СИ, знак соответствия внесён на титульную страницу. На стр. 17 добавлено предупреждение (отмечено красным). На стр. 19 добавлены сведения о прошивке FPGA 2.01.11
2.01.02 2.01.03	11-2018	Дополнены сведения о новых прошивках, п. 3.3.4

2.01.04	11-2018	Дополнены сведения о новых синхронных последовательных каналах цифрового ввода: обновлены п. 3.3.4 , рис. 5-2 , п. 5.2.1 , п. 5.2.3 , добавлены пп. 5.2.3.3 , 5.2.8 . Разделены понятия “линия (цепь) DI16/START” и “сигнал START” в пп. 5.1 , 5.2 , 5.2.2 , 6.5.5 , табл. 5-2 , табл. 6-2 , табл. 6-3 , табл. 6-4
2.01.05	11-2018	В пп. 2 , 5.2.8 добавлены таблицы и сопроводительный текст к ним
2.01.06	12-2018	В п. 5.2.5 изменён 3-ий абзац
2.02.00	04-2019	Добавлены сведения о E20-10 ревизии С: - Дополнены пп. 1.1 , 2 , 2.1 , 3.3.4 , 5.1 , 5.2.1 , 5.2.2 , 5.2.2.1 , 5.2.3.1 , 5.2.3.2 , 5.2.4 , 5.2.5 , 5.2.6 , 6.5.4.2 , 6.5.4.3 , 6.5.4.7 , 7.1 , 7.4 . - Изменены пп. 3.1 , 3.2 , 3.3.1 , 3.3.2 , 3.3.3.4 , 6.5.4.1 . - Дополнены рис. 5-1 , рис. 5-2 , рис. 5-3 , рис. 6-5 . - Дополнены табл. 6-3 , табл. 6-6 . - Вставлен новый п. 7.1.3 . - “L-Card” (как официальное название компании) заменено на ООО “Л Кард”
2.02.01	01-2020	Оформлены сведения о прошивках FPGA в пп. 3.3.4.1 , 3.3.4.2 , 3.3.4.3 . Скорректированы пп. 5.2 , 5.2.8 , добавлен п. 5.2.8.1
2.02.02	04-2021	Дополнены сведения о новых прошивках FPGA, п. 3.3.4
2.02.03	07-2022	Проведена корректура документа

На CD-ROM, входящий в комплект поставки (п. **3.3**), всегда записывается последняя ревизия данного документа. Кроме того, последнюю ревизию Вы сможете найти в библиотеке файлов на нашем сайте <http://www.lcard.ru/download>.

1. О чем этот документ

Настоящий документ – это *Руководство пользователя*, написанное, по возможности, в максимально дружественной к пользователю форме¹. Здесь описываются технические свойства **E20-10**, разъясняются правила эксплуатации, принципы функционирования, содержатся технические характеристики и комплектность поставки.

В настоящем документе не рассматриваются какие-либо вопросы, касающиеся программирования и программного обеспечения. Эти вопросы изложены в руководстве программиста [1].

Итак, для практической работы с **E20-10** Вам, скорее всего, понадобятся два документа: руководство пользователя и руководство программиста.

1.1. О ревизиях А, В, В.01 и С модуля E20-10

Бурно развивающаяся современная элементная база и технологии, многолетний опыт серийного производства **E20-10**, многочисленные пожелания пользователей – всё это создало возможность значительно переработать проект **E20-10**: дополнить его целым рядом полезных функций и свойств, максимально сохраняя совместимость с прежними функциями, оставаясь при этом в той же стоимостной категории устройств сбора данных. Новому **E20-10** присвоена ревизия В, и его производство начато с 2008 года. Производимая до конца 2007 года ревизия А модуля **E20-10** снята с производства, но, естественно, продолжает поддерживаться компанией ООО “Л Кард”, и её описание присутствует в этом руководстве.

В 2013 году компания ООО “Л Кард” выпустила новую ревизию **В.01**, которая отличается от предшествующих существенно расширенным диапазоном напряжений питания, см. п. 7.4, стр. 70.

Развивающаяся элементная база явилась причиной в 2019 году выпустить новую ревизию **С**.

С полным перечнем отличий ревизий А, В, В.01 и С можно ознакомиться в п. 2.1 настоящего руководства.

Смена ревизий **E20-10** связана с существенными технологическими обновлениями, поэтому отметим сразу, что возможность какой-либо доработки **E20-10** до более старших ревизий полностью исключена.

Указанные в настоящем руководстве характеристики ревизии В.01 и С соответствуют характеристикам сертифицированных преобразователей семейства L-CARD:



Преобразователи **E20-10**, **E20-10-I**, **E20-10-1**, **E20-10-1-I**, **E20-10-D**, **E20-10-D-I**, **E20-10-D-1**, **E20-10-D-1-I** [внесены в Государственный реестр средств измерений в составе семейства преобразователей L-CARD](#), и их выпуск начался в 2018 году.

¹ но не по ГОСТу

1.2. Система обозначений



1.3. Варианты исполнений

- **E20-10** (ширина полосы частот пропускания АЦП 1,2 МГц, 2-канальный ЦАП отсутствует).
- **E20-10-D** (ширина полосы частот пропускания АЦП 1,2 МГц 2-канальный ЦАП присутствует).
- **E20-10-1** (ширина полосы частот пропускания АЦП 5 МГц, 2-канальный ЦАП отсутствует).
- **E20-10-D-1** (ширина полосы частот пропускания АЦП 5 МГц 2-канальный ЦАП присутствует).
- **E20-10-D-I** (ширина полосы частот пропускания АЦП 1,2 МГц 2-канальный ЦАП присутствует, промышленный вариант исполнения).
- **E20-10-D-1-I** (ширина полосы частот пропускания АЦП 5 МГц 2-канальный ЦАП присутствует, промышленный вариант исполнения).

Промышленные исполнения² (с буквенным индексом "I"), предназначенные для эксплуатации при температуре от -40 до +60 °С, имеют герметизацию плат лакировкой, что повышает устойчивость изделий к воздействию окружающей среды.

Подробнее об условиях эксплуатации читайте в п. 7.6.

² Подробнее термин "промышленное исполнение" объяснен в статье <https://www.lcard.ru/lexicon/industrial>

1.4. Как читать это руководство?

В главе 2 приведена сжатая информация об основных потребительских свойствах **E20-10**. Эта глава предназначена для широкого круга заинтересованных лиц.

В главах 3, 4, 6 приведены сведения, относящиеся к чисто практической работе с **E20-10**. Рассмотренные здесь вопросы актуальны для специалистов и эксплуатационщиков.

Главу 5 при ознакомительном чтении можно пропустить, поскольку в ней находится описание внутренней архитектуры модуля **E20-10**, которая важна при более детальном ознакомлении.

В главе 7 приведены спецификации на **E20-10**. Представленный здесь перечень характеристик **E20-10** адресован специалистам.

В главе 8 приведены практические сведения по решению вопросов в нестандартных ситуациях.

2. Основные потребительские свойства

E20-10 – это модуль быстродействующего аналого-цифрового преобразования с *USB 2.0* интерфейсом. Ниже кратко, в тезисной форме, перечислены основные потребительские свойства изделия.

- Обеспечивается непрерывный сбор 16-битных данных с частотой до 10 МГц по интерфейсу *USB2.0*³.
- 4-канальная архитектура с одним *14-разрядным АЦП*, коммутатором, входными буферными усилителями, фильтрами в каждом канале. *Благодаря входным буферным усилителям, эффект динамических коммутационных помех полностью исключён.*
- Каждый из 4 каналов АЦП имеет возможность программной установки следующих поддиапазонов входного сигнала независимо для каждого канала: $\pm 3,0\text{В}$, $\pm 1,0\text{В}$, $\pm 0,3\text{В}$.
- *Каждый канал имеет ФНЧ 3-го порядка с частотой среза 1,25 МГц (оптимальная полоса пропускания для 4-канального режима и частоты преобразования АЦП 10 МГц), улучшающий соотношение сигнал-шум. Возможны и другие частоты среза ФНЧ (п. 3.3.2).*
- *Частота преобразования АЦП F_{ADC} может быть задана в диапазоне от 1,00 до 10,0 МГц. Частота преобразования АЦП может быть либо внутренней, установленной программно (сетка частот в мегагерцах определяется по формуле $F_{ADC} = 30/k$, где $k = \{3,4, 5, \dots, 30\}$), либо внешней с любой частотой от 1,00 до 10,0 МГц (меньшая частота сбора данных может быть достигнута путём задания межкадровой задержки).*
- Максимальная частота сбора данных по каждому каналу равна F_{ADC}/n , где $n = \{1,2,3,4\}$ – количество опрашиваемых каналов.
- В управляющей таблице модуля может быть запрограммирован кадр – это произвольная последовательность опроса каналов длиной от 1 до 8192⁴. Номера опрашиваемых каналов будут циклически выбираться из таблицы установленного размера, и порядок выходных отсчётов данных **E20-10** будет соответствовать установленной последовательности опроса каналов.
- *Межкадровая задержка выборки АЦП может быть запрограммирована от 0 до 65535⁵ периодов частоты преобразования АЦП. Это позволяет реализовать более низкие частоты выборок по каждому каналу.*
- Имеются развитые режимы синхронизации старта сбора данных и/или частоты преобразования АЦП в многомодульной системе. Например, соединив модули **E20-10** по схеме “один задатчик - много приёмников”, можно получить синхронную многомодульную систему сбора данных!
- Полностью загружаемая извне архитектура: загружаемая [FPGA](#), может быть обновлена прошивка контроллера. Это даёт возможность пользователю самостоятельно обновлять прошивки последними версиями.

³ в режиме full-speed (*USB1.1*) максимально достижимая частота составит 500 кГц

⁴ максимальный размер кадра зависит от версии прошивки *FPGA*, см. таблицу в п. 3.3.4

⁵ в **E20-10** ревизиях В, В.01, С

- *Внутренний буфер FIFO данных размером 8 МВ (16 МВ в ревизии С)* буферизирует данные, исключая их потерю в случае, когда операционная система компьютера "задумалась"⁶ (для ревизии С глубина буферизации составит до 800 мс при частоте сбора данных 10 МГц, и до 8 с – при частоте 1 МГц).
- *Цифровой ввод-вывод* представлен в виде 16 входных и 16 выходных цифровых ТТЛ-совместимых линий. Цифровые выходы по желанию пользователя могут быть переведены в *третье состояние*.
- *Двухканальный 12-ти разрядный ЦАП* (опция) позволяет выставлять в асинхронном режиме постоянное напряжение в диапазоне ± 5 В.
- Выход питания внешнего устройства ± 12 В, 35 мА.
- **Питание E20-10 от внешнего нестабилизированного источника +8В...+40 В⁷** (цепь питания от USB не используется). Это может быть сетевой адаптер -220/=12 В (входит в комплект поставки). В автономных условиях **E20-10** может быть запитан от внешнего источника постоянного напряжения от +9 до +27 В. Потребляемая мощность – до 4,5 Вт⁸. **Ревизии В.01 и С модуля E20-10 имеют расширенный диапазон напряжений питания от +8 до +40 В.**

Кроме этого, более старшая ревизия модуля **E20-10**, по сравнению с более младшей, имеет ряд улучшенных параметров и дополнительных возможностей, перечисленных ниже (п. 2.1).

! В прошивке FPGA 2.0x.13 модуля E20-10 рев.В, а также во всех прошивках рев.С, реализованы два канала последовательного цифрового ввода с частотой до 60 Мбит/с каждый. Возможные сочетания частот дискретизации и количеств каналов ввода данных показаны в таблице ниже. Подробнее о каналах синхронного ввода читайте в п. 5.2.8.

Частота дискретизации АЦП на канал, МГц	Кол-во каналов АЦП	Частота цифрового синхронного ввода, МГц	Кол-во каналов цифрового синхронного ввода
-	0	60	2
5	1	60	1
5	1	30	2
3,333	2	20	2
2,5	3	15	2
2	4	12	2

⁶ например, в Windows – в системе НЕ реального времени

⁷ для ревизий модуля В.01 и С

⁸ В **E20-10** ревизии В, В.01 и С

2.1. Полный перечень пользовательских отличий ревизий А, В, В.01 и С модуля E20-10

Все модули **E20-10** 2006-го и 2007-го года выпуска необходимо относить к ревизии А (см. этикетку снизу корпуса).

Начиная с 2008-го года, **ООО “Л Кард”** производит **E20-10** ревизии В.

В 2013 году **ООО “Л Кард”** начал выпуск ревизии В.01 с расширенным диапазоном напряжений питания. Программных отличий ревизий В и В.01 не существует.

Начиная с 2017 года, модуль E20-10 входит как модификация в семейство сертифицированных *Преобразователей напряжения измерительных L-CARD* с обозначением L-CARD-E20-10, указанным на этикетке снизу корпуса.

В 2019 году **ООО “Л Кард”** начал выпуск **E20-10** ревизии С с дальнейшими обновлениями элементной базы, расширенный диапазон напряжений питания сохранён.

Все потребительские отличия **E20-10** разных ревизий сведены в таблицу:

Характеристика, параметр, функция, признак	Ревизия А	Ревизии В и В.01	Ревизия С
Первая цифра серийного номера ⁹ E20-10	1 - 4	5 (ревизия В) 6 (ревизия В.01)	7 или 8
Процедура калибровки данных (п. 5.2.5)	Производится в компьютере (посредством выполнения соответствующей библиотечной функции)	Производится внутри E20-10 аппаратно средствами FPGA	Производится внутри E20-10 аппаратно средствами FPGA
Диапазон межкадровой задержки (п. 5.2.1)	0-255 периодов частоты преобразования АЦП	0-65535 периодов частоты преобразования АЦП	0-65535 периодов частоты преобразования АЦП
Потребляемая мощность (п. 7.4)	До 5 Вт	До 4,5 Вт	До 4,5 Вт
Напряжение питания	+9,0...+27 В	+9,0...+27 В (ревизия В) +8,0...+40 В (ревизия В.01)	+8,0...+40 В
Возможность программного отключения входного тока смещения входа АЦП (п. 6.5.4.1)	Отсутствует	Присутствует	Присутствует
Собственный входной ток аналогового входа АЦП (п. 7.1)	-15...0 мкА (типичное значение -7 мкА)	10 нА (типичное значение), если входной ток смещения программно не включён (п. 6.5.4.1)	
Типичное отношение сигнал-шум (п. 7.1)	70 дБ	73 дБ	73 дБ

⁹ на этикетке снизу корпуса и в паспорте изделия

Характеристика, параметр, функция, признак	Ревизия А	Ревизии В и В.01	Ревизия С
Минимальная скорость сбора данных при максимальной межкадровой задержке и частоте преобразования АЦП 1 МГц (п. 7.1)	7,8 кбайт/с	30 байт/с	30 байт/с
Входное сопротивление аналогового входа АЦП	Не менее 5 МОм	10 МОм ± 5%	10 МОм ± 5%
Межканальное прохождение , не хуже (п. 7.1): – на постоянном напряжении; – на частоте 1 кГц; – на частоте 1 МГц	-50 дБ -70 дБ -60 дБ	-70 дБ -75 дБ -65 дБ	-70 дБ -75 дБ -65 дБ
Рабочий ток выхода +5V питания внешних устройств	35 мА	35 мА (ревизия В) 100 мА (ревизия В.01)	100 мА
Режимы синхронизации старта сбора данных "по уровню" сигнала выбранного физического канала (п. 5.2.2)	Отсутствуют	Присутствуют	Присутствуют
Режим маркера первого кадра – логического признака непрерывного участка данных (п.5.2.3.2)	Отсутствует	Присутствует	Присутствует
Возможность настройки на дополнительные условия разрешения записи данных АЦП в буферную память E20-10 : – "по перепаду" сигнала в выбранном канале АЦП; – запрет передачи заданного количества кадров от начала сбора данных (п. 5.2.2)	Отсутствует	Присутствует	Присутствует
Режим аппаратной остановки сбора данных по заданному количеству собранных кадров данных ¹⁰ (п. 5.2.2).	Отсутствует	Присутствует	Присутствует
Тип FPGA ¹¹	Асех 1К	Cyclone III	Cyclone IV
Возможности расширения функционала E20-10 в будущих версиях прошивок FPGA	Отсутствуют	Незначительные	Значительные
Скоростной синхронный цифровой ввод (2 канала)	Не реализован	Реализован, начиная с версии 2.00.13 прошивки FPGA (п. 3.3.4)	Реализован

¹⁰ после остановки может быть дан рестарт сбора данных, например, по внешнему синхросигналу START. Эта возможность фактически позволяет осуществлять старт-стопный режим для нескольких режимов старта сбора данных

¹¹ смена типа FPGA в новых ревизиях E20-10 связана с повышением логических возможностей, которые реализуются в новых версиях прошивок FPGA (п. 3.3.4)

Характеристика, параметр, функция, признак	Ревизия А	Ревизии В и В.01	Ревизия С
Штатная загрузка FPGA	Из ПК при программной инициализации модуля E20-10		Из внутренней flash-памяти при включении питания (время загрузки около 6 с)
Объём буферной памяти	8 МВ	8 МВ	16 МВ
При возникновении программно распознаваемого события переполнения буферной памяти E20-10 (по причине сильной задержки откачки данных по USB со стороны компьютера) (п. 5.2.4)...	...требуется обязательный перезапуск сбора данных со стороны компьютера	...не требуется перезапуск сбора данных, поскольку необходимое минимальное количество кадров данных будет автоматически (аппаратной логикой) удалено из буферной памяти E20-10 для устранения переполнения, при этом активизируется программно доступный признак переполнения	
Признак перегрузки разрядной сетки АЦП по каждому каналу АЦП (п. 5.2.6)	Вставляется в поток данных АЦП (при включении соответствующего режима)	Не вставляется в поток данных АЦП, а вызывает соответствующее программное событие	
Внешние незначительные конструктивные отличия (стр. 14)	Разъёмы BNC (входы АЦП) имеют фланцы с 4-мя винтами	Разъёмы BNC (входы АЦП) без фланцев, имеют крепление одной гайкой	
Внутренние значительные конструктивные отличия	2-этажная конструкция на основе двух плат	1-этажная одноплатная конструкция, в частности, более удобная для использования E20-10 без корпуса в качестве встроенного модуля АЦП в Вашей системе ¹²	
Количество вариантов исполнений (п. 3.3.2)	2 (фиксированное)	4 6 (для L-CARD-E20-10)	
Сертификат Средства Измерения	Отсутствует	RU.C.34.390.A № 68764 “Преобразователи напряжения измерительные L-CARD”	

¹² Здесь не рассматривается вопрос корректности использования сертифицированного Средства Измерения без штатного корпуса.

3. Общее знакомство

В этой главе пользователь может ознакомиться с назначением устройства **E20-10**, узнать о необходимом и опциональном оборудовании, содержании поставки ПО на CD-ROM, а также получить сведения о том, что нужно для начала работы.

3.1. Назначение устройства

E20-10 является малогабаритным многофункциональным измерительным модулем, подсоединяемым к ПК через USB 2.0-интерфейс. Основное назначение – это скоростная потоковая оцифровка данных с частотой преобразования АЦП до 10 МГц.

Базовые функции **E20-10**:

- 4-х канальное АЦП 10 МГц с мультиплексированием каналов, с буферизированным входом, с развитыми функциями внутренней, внешней, многомодульной синхронизации;
- цифровой асинхронный ввод-вывод;
- скоростной синхронный цифровой ввод (**E20-10** ревизий В, В.01и С);
- 2-х канальный асинхронный ЦАП (опция).

3.2. Внешний вид

Ревизия А модуля **E20-10**, по отношению к ревизиям В и С, имеют мелкие внешние отличия ([рис. 3-1](#), [рис. 3-2](#)).



Рис. 3-1. Внешний вид E20-10 ревизии А



Рис. 3-2. Внешний вид E20-10 ревизий В и С

3.3. Комплектация модуля

3.3.1. Базовый комплект поставки

- собственно модуль **E20-10** (1 шт.) в варианте исполнения (п. 3.3.2), в соответствии с заказом;
- кабель связи по USB 2.0 (1 шт.) – тип A-B, длиной 1.3...2.0 м;
- сетевой адаптер для питания **E20-10** от сети переменного тока 220 В, 50 Гц;
- кабельная часть разъема (1 шт.) – DB-37M с кожухом DP-37P – для изготовления кабеля подключения цифровых сигналов;
- кабельная часть разъема (1 шт.) – DJK-10A – для изготовления кабеля подключения внешней цепи питания, если требуется запитать **E20-10** не от сети 220V через прилагаемый сетевой адаптер, а от другого источника +9...+27 В;
- кабельная часть разъема (1 шт.) – MDN-9P – для изготовления кабеля подключения к выходам питания внешнего устройства ±12 В и к выходам ЦАП;
- CD-ROM с документацией и ПО.

3.3.2. Варианты исполнения

E20-10 выпускается в следующих вариантах исполнения:

Полное название изделия	Описание
L-CARD-E20-10	Ширина полосы частот пропускания 1,25 МГц каждого канала АЦП. ЦАП отсутствует. Рабочий темп. диапазон окружающего воздуха +5...+55 °С
L-CARD-E20-10-D	Ширина полосы частот пропускания 1,25 МГц каждого канала АЦП. Двухканальный ЦАП присутствует. Рабочий темп. диапазон окружающего воздуха +5...+55 °С
L-CARD-E20-10-1	Ширина полосы частот пропускания 5 МГц каждого канала АЦП. ЦАП отсутствует. Рабочий темп. диапазон окружающего воздуха +5...+55 °С
L-CARD-E20-10-D-1	Ширина полосы частот пропускания 5 МГц каждого канала АЦП. Двухканальный ЦАП присутствует. Рабочий темп. диапазон окружающего воздуха +5...+55 °С
L-CARD-E20-10-D-I	Ширина полосы частот пропускания 1,25 МГц каждого канала АЦП. Двухканальный ЦАП присутствует. Рабочий темп. диапазон окружающего воздуха –40...+60 °С, с лакировкой паяных соединений (индустриальное исполнение)
L-CARD-E20-10-D-1-I	Ширина полосы частот пропускания 5 МГц каждого канала АЦП. Двухканальный ЦАП присутствует. Рабочий темп. диапазон окружающего воздуха –40...+60 °С, с лакировкой паяных соединений (индустриальное исполнение)

Внимание! При заказе **E20-10** обязательно укажите требуемый вариант исполнения. Полное название изделия отображается на заводской этикетке снизу корпуса.

Возможны и другие полосы пропускания каналов АЦП, по согласованию с ООО “Л Кард”.

3.3.3. Поставка ПО

3.3.3.1. Штатное программное обеспечение

Так исторически сложилось, что на сегодняшний день фирма *ООО "Л Кард"* предоставляет пользователю две библиотеки для работы с модулем **E20-10**, а именно: *Lusbapi* и *LComp*. Обе библиотеки предназначены для работы в операционных средах *Windows '98/2000/XP/Vista*. Как *Lusbapi*, так и *LComp* обеспечивают полную функциональную поддержку модулю **E20-10**. Преимуществом использования библиотеки *LComp* является более широкая поддержка изделий от фирмы *ООО "Л Кард"*. Так *Lusbapi* поддерживает только **USB** устройства, а библиотека *LComp* кроме этого ещё обеспечивает работу с **ISA** и **PCI** изделиями от фирмы *ООО "Л Кард"*.

Внимание! Библиотеки *Lusbapi* и *LComp* обладают полностью несовместимыми программными интерфейсами, но используют один и тот же универсальный **USB** драйвер под названием **Ldevusb . sys**.

3.3.3.2. Библиотека *Lusbapi*

Весь пакет библиотеки *Lusbapi* находится на прилагаемом к модулю фирменном CD-ROM'е в базовой директории `\USB\Lusbapi`. Эту же библиотеку можно также скачать с нашего сайта www.lcard.ru из раздела "[Библиотека файлов](#)". Там, в подразделе "[ПО для внешних модулей](#)" следует выбрать самораспаковывающийся архив `lusbapiXY.exe`, где *X.Y* означает текущий номер версии программного обеспечения. На момент написания данного руководства последняя библиотека *Lusbapi* имеет версию **3.2**, а содержащий её архив называется [lusbapi32.exe](#).

Ниже в таблице приводится структура расположения на фирменном CD-ROM'е всех составных частей библиотеки *Lusbapi* (пути указаны относительно базовой директории `\USB\Lusbapi`):

Директория	Назначение
<code>\DLL\</code>	Библиотека <i>Lusbapi</i> , включая все исходные тексты, библиотеки импорта, модули объявлений и т.д.
<code>\DRV\</code>	USB драйвер модуля и <i>inf</i> -файл
<code>\E20-10\DOC\</code>	Документация. В том числе руководство программиста по работе с библиотекой <i>Lusbapi</i>
<code>\E20-10\Examples\</code>	Проекты примеров программирования модуля в различных средах разработки: Borland C++ 5.02, Borland C++ Builder 5.0, Delphi 6.0 и MS Visual C++ 6.0

Для обеспечения надлежащей работы Ваших приложений с модулем **E20-10** рекомендуется скопировать бинарный файл библиотеки `\DLL\Bin\Lusbapi.dll` в директорию `%SystemRoot%\system32`, что можно реализовать, воспользовавшись готовым командным файлом `\DLL\CopyLusbapi.bat`. Это полезно сделать потому, что *Windows '98/2000/XP/Vista* при необходимости автоматически производит поиск библиотек в указанной директории. Хотя, в принципе, библиотека `Lusbapi.dll` может находиться в директории конечного приложения или в одной из директорий, указанных в переменной окружения **PATH**.

Все потребовавшиеся пользователю составные части библиотеки *Lusbapi* (заголовочные файлы, примеры программирования и т.п.) переносятся на целевой компьютер

простым копированием необходимых директорий и файлов с поставляемого фирменного CD-ROM.

3.3.3.3. Библиотека *LComp*

Библиотека *LComp* предоставляется в виде инсталляционной программы *LComp.exe*, которая располагается на фирменном CD-ROM'е в директории \DLL\LComp. Эту же библиотеку можно также скачать с нашего сайта www.lcard.ru из раздела "[Библиотека файлов](#)". Там, в подразделе "[Штатные драйвера и библиотеки для Microsoft Windows](#)" следует выбрать самораспаковывающийся архив [lcomp.exe](#).

Инсталляционная программы *LComp.exe* предназначена для корректного размещения всех составных частей библиотеки *LComp* на компьютере пользователя. При этом в директории, указанной пользователем при установке библиотеки, будут располагаться такие необходимые компоненты *LComp* как исходные тексты, библиотеки импорта, модули объявлений, примеры программирования, электронная документация и т.д.

3.3.3.4. Дополнительное программное обеспечение

- Бесплатная программа *L-Graph 2*.
- Коммерческая программа многоканального самописца–регистратора *PowerGraph*.
- Коммерческий комплекс автоматизации экспериментальных и технологических установок *ACTest*.

О дополнительном ПО см. страницу сайта <http://www.lcard.ru/products/software>.

3.3.4. Версии прошивок FPGA

В **E20-10** версия и дата создания прошивки FPGA¹³ программно доступны [1]. Текущая прошивка FPGA интегрирована в поставляемое ПО (прошивка записана во flash-памяти в поставляемые **E20-10** в ревизии С).

Для всех ревизий **E20-10** для обновления встроенного ПО (вместе с прошивкой FPGA) используйте утилиту E2010Update, последнюю версию которой можно скачать из раздела [Библиотека файлов](#) на сайте ООО "Л Кард".

В **E20-10** рев. А, В, В.01 при написании (или заказе) собственного ПО требовалось обеспечить, чтобы отдельный файл прошивки FPGA можно было бы изменить без перекомпиляции этого ПО (было некорректно располагать прошивку FPGA внутри пользовательского исполняемого кода). Для модуля **E20-10** рев. С отсутствует это требование, поскольку FPGA загружается из встроенной flash-памяти при включении питания, и старая прошивка FPGA, которую будет загружать старое ПО, будет проигнорирована. Однако старое ПО определит ревизию С модуля **E20-10** как ревизию В, поскольку о ревизии С оно ничего не знает.

Однако для любой ревизии **E20-10** необходимо, чтобы пользовательское ПО использовало штатные файлы *.dll от ООО "Л Кард"! Тогда при возможной модификации файла *.dll со стороны ООО "Л Кард" обновление Вашего ПО сведётся к простой замене файлов без необходимости перекомпиляции ПО.

¹³ О термине FPGA читайте статью <https://www.lcard.ru/lexicon/fpga>

Узнать о фактической версии прошивки FPGA Вашего модуля **E20-10** можно с помощью утилиты **ModulesViewer**, последнюю версию которой можно скачать из раздела [Библиотека файлов](#) на сайте ООО “Л Кард”.

Обратите внимание, что **максимальный размер кадра** (измеряемый в количестве логических каналов в одном кадре сбора данных) **зависит от версии прошивки**.

3.3.4.1. Прошивки **E20-10** рев.А

Версия прошивки FPGA рев. А	Максимальный размер кадра	Температурный диапазон	Комментарии
1.00.06 от 15.01.07 г.	256	+5...+55°C	Первая прошивка серийных E20-10 рев.А
1.00.07 от 29.10.08 г.	256	+5...+55°C	Устранена порча данных при многократном чередовании внешнего старта и программного останова (это относится только к рев.А). Прошивка FPGA 1.00.07 предполагает одновременное обновление прошивки контроллера AVR

3.3.4.2. Прошивки **E20-10** рев.В

Версия прошивки FPGA рев. В	Максимальный размер кадра	Температурный диапазон	Комментарии
2.00.03 от 10.04.08 г.	256	+5...+55 °C	Первая прошивка серийных E20-10 рев.В Пользователям, применяющим внутреннюю калибровку в E20-10 рев.В, рекомендуется обновить прошивку до более старшей версии, где устранён эффект порчи отдельных сэмплов данных при приближении кода к границе разрядной сетки АЦП. С выключенной внутренней калибровкой негативных эффектов не обнаружено
2.00.05 от 24.07.08 г.	256	+5...+55 °C	В прошивке 2.00.05 при использовании дополнительного условия старта "по переходу через заданный уровень сигнала в выбранном канале" и условия останова "по количеству М записанных кадров" повторный программный старт не требуется, поскольку после очередного выполнения условия останова повторный старт сбора данных начнётся автоматически после нового выполнения условия старта. Для других условий старта прошивка FPGA 2.00.05 идентична прошивке 2.00.03. См. также табл. 5-5 и примечания к ней. Прошивки FPGA 2.00.03 и 2.00.05 полностью совместимы по программным библиотечным функциям

Версия прошивки FPGA рев. В	Максимальный размер кадра	Температурный диапазон	Комментарии
2.00.06 от 01.09.08 г.	256	+5...+55 °C	Устранена проблема сбора данных, проявляющаяся в одноканальном режиме
2.00.07 от 05.09.12 г.	8192	+5...+55 °C	Увеличен максимально возможный размер кадра до 8192 отсчётов АЦП! Для обновления потребуется удалённо перешить контроллер AVR и обновить библиотеку (в которую уже добавлена прошивка FPGA 2.00.07). Совместимость со старым ПО верхнего уровня сохраняется
2.00.08 от 20.11.12 г.	8192	+5...+55 °C	Устранена проблема попадания в буфер АЦП лишних данных при повторном запуске сбора данных по сигналу START в режиме с программным остановом сбора данных
2.00.10 от 15.12.14 г.	8192	+5...+55 °C	Устранена проблема с возникновением повторного запуска сбора данных по сигналу START
2.00.12 от 09.11.18 г.	8192	+5...+55 °C	Прошивка аналогична по функционалу версии 2.00.10 , добавлен логический признак “коммерческой” прошивки
2.01.12 от 08.11.18 г.	8192	-40...+60°C	Прошивка аналогична по функционалу версии 2.00.10 , добавлен логический признак “индустриальной” прошивки
2.00.13 от 22.11.18	4096	+5...+55 °C	Добавлены два канала синхронного последовательного цифрового ввода. Максимально возможный размер кадра уменьшен до 4096 отсчётов АЦП
2.00.14 от 28.01.20 г.	4096	+5...+55°C	Расширены функции линий SYNC, START, настроенных на выход
2.01.14 от 28.01.20 г.	4096	-40...+60°C	
2.00.16	4096	+5...+55 °C	Устранена проблема при работе на частоте 10 МГц внешней синхронизации частоты преобразования АЦП. В тестовом режиме восстановлена логика счётной последовательности вместо данных АЦП
2.01.16	4096	-40...+60°C	

Примечание: прошивки с темп. диапазоном -40...+60 °C предназначены только для индустриального исполнения¹⁴ изделий (E20-10-D-I, E20-10-D-1-I).

¹⁴ Термин объяснён в статье <https://www.lcard.ru/lexicon/industrial>

3.3.4.3. Прошивки **E20-10** рев.С

Версия прошивки FPGA рев. С	Максимальный размер кадра	Температурный диапазон	Комментарии
3.00.04с от 19.06.19	8192	+5...+55 °С	Первая прошивка серийных E20-10 рев.В. Кроме максимального размера кадра, по остальному функционалу прошивка аналогична прошивке 2.00.13
3.00.04i	8192	-40...+60 °С	Кроме максимального размера кадра, по остальному функционалу прошивка аналогична прошивке 2.00.13
3.00.05с от 28.01.20 г.	8192	+5...+55 °С	Расширены функции линий SYNC, START, настроенных на выход (п. 5.2.8.1). Кроме максимального размера кадра, по остальному функционалу данная прошивка аналогична прошивкам 2.0x.14
3.00.05i от 28.01.20 г.	8192	-40...+60 °С	
3.00.07с	8192	+5...+55 °С	Устранена проблема при работе на частоте 10 МГц внешней синхронизации частоты преобразования АЦП. В тестовом режиме восстановлена логика счётной последовательности вместо данных АЦП
3.00.07i	8192	-40...+60 °С	

Примечание: прошивки с темп. диапазоном -40...+60 °С предназначены только для промышленного варианта исполнения изделий (E20-10-D-I, E20-10-D-1-I).

4. Инсталляция и настройка

4.1. Подключение модуля к компьютеру

Проверьте упаковку и компоненты изделия на отсутствие механических повреждений. Включите питание компьютера, если оно было выключено, и загрузите операционную систему *Windows '98/2000/XP/Vista*. Именно эти операционные системы способны поддерживать корректное функционирование **USB** шины.

Спецификация шины **USB** предоставляет пользователям реальную возможность работать с периферийными устройствами в истинном режиме *Plug&Play*. Это означает, что стандартом **USB** предусмотрено 'горячее' подключение устройства к работающему компьютеру, автоматическое его распознавание операционной системой немедленно после подключения и последующая загрузка соответствующих данному устройству драйверов. Также вполне допускается отключение **USB** устройства от компьютера в любой момент времени. Более того, возможно включение компьютера с уже подсоединённым **USB** устройством.

Процедура *аппаратного* подключения модуля **E20-10** к компьютеру следующая: подайте внешнее питание на **E20-10**, подсоединив сетевой адаптер, входящий в комплект поставки, соедините **USB** разъём модуля с **USB** портом компьютера при помощи кабеля, входящего в комплект поставки. Все особенности подключений сигналов описаны в гл. 6, в частности, по подключению к **USB** см. п. **6.5.1**.

Обратите внимание, что при работе с драйверами *LComp* сначала нужно установить драйвера **4.2.2**, а только после этого подключать **E20-10**.

4.2. Установка USB драйверов

Процедуры установки **USB** драйверов от библиотек *Lusbapi* и *LComp* для модуля **E20-10** немного различаются. Именно эти различия описаны в следующих двух параграфах.

4.2.1. Установка USB драйверов от *Lusbapi*

При самом *первом* подсоединении модуля **E20-10** к компьютеру с помощью прилагаемого стандартного **USB** кабеля операционная система должна запросить файлы драйвера для *впервые* подключаемого **USB** устройства. Тогда ей необходимо указать *inf*-файл от библиотеки *Lusbapi* с нашего фирменного CD-ROM: \USB\Lusbapi\DRV\Lusbapi.inf. При этом операционная система сама скопирует все требуемые ей файлы в нужные места и сделает все необходимые записи в своём реестре. После чего система *Windows* должна провести так называемую процедуру *нумерации* (*enumeration*) **USB** устройства, о чём см. ниже п. **4.3** "Обнаружение модуля".

4.2.2. Установка USB драйверов от *LComp*

Прежде чем использовать модуль **E20-10** с применением библиотеки *LComp*, необходимо выполнить инсталляционную программу *LComp.exe*, которая располагается на фирменном CD-ROM'e в директории \DLL\LComp. Данная программа, помимо всего прочего, устанавливает на целевой компьютер пользователя все необходимые файлы, которые потребуются операционной системе в процессе опознавания модуля **E20-10** при его первом подключении к **USB** порту компьютера. Только после успешного завершения программы *LComp.exe* можно осуществлять подключение модуля к компьютеру с помощью

прилагаемого стандартного **USB** кабеля. При этом система *Windows* должна произвести процедуру *нумерации USB* устройства, о чём смотрите следующий пункт данного руководства.

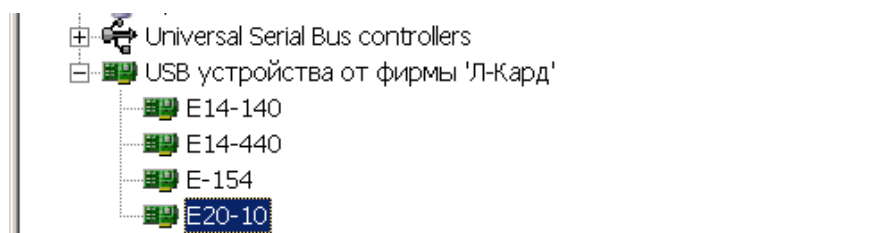
4.3. Обнаружение модуля

Как уже говорилось выше, операционная система *Windows* должна произвести процедуру *нумерации* для каждого подключаемого **USB** устройства. Такая процедура для **USB** устройств осуществляется динамически по мере их подключения к компьютеру без какого-либо вмешательства пользователя или клиентского программного обеспечения.

Во время выполнения *нумерации USB* индикатор модуля – светодиод, расположенный рядом с **USB** разъёмом **E20-10**, должен непрерывно мигать, а по окончании постоянно загореться красным или зелёным цветом. Это будет признаком того, что подключённое **USB** устройство корректно опознано операционной системой и полностью готово к дальнейшей работе. Цвет индикатора сигнализирует о скорости, на которой **E20-10** подключился к интерфейсу USB¹⁵:

- **красный – full speed,**
- **зелёный – high speed.**

Дополнительно проконтролировать правильность распознавания операционной системой подключенного модуля можно в “*Device Manager*” (“*Диспетчере устройств*”). Там в появившемся разделе “**L-Card USB devices**” (“*USB устройства от фирмы 'Л-Кард'*”) должно отображаться устройство **E20-10**, как это, например, отображено на рисунке ниже:



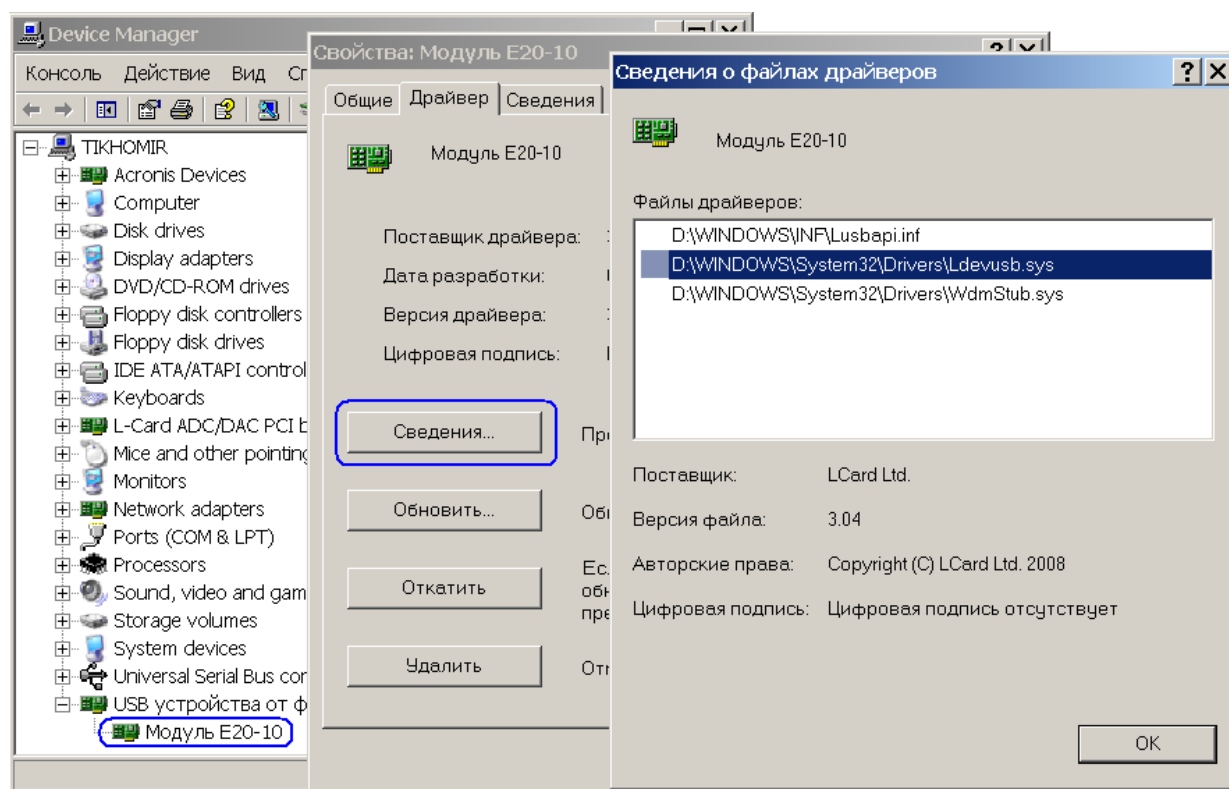
При дальнейшей работе с модулем **E20-10** операционная система уже будет знать, где находится драйвер для данного типа устройства, и будет подгружать его автоматически по мере необходимости при подключении изделия к компьютеру.

¹⁵ В **E20-10** ревизии В индикатор мигает при передаче данных по USB – это нормальное явление

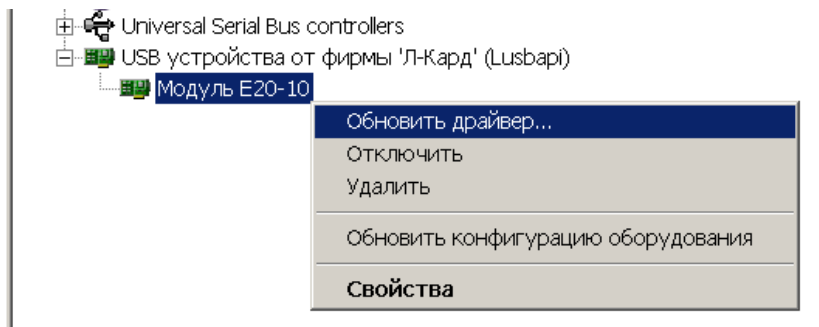
4.4. Различия в USB драйверах библиотеки Lusbapi

Начиная с версии **3.2**, в библиотеке *Lusbapi* изменился основной файл USB драйвера, теперь он называется **Ldevusb.sys** вместо бывшего ранее **Ldevusb.sys**. Т.о. тем пользователям, на компьютерах которых ранее уже были установлены USB драйвера от библиотеки *Lusbapi* версии **3.1** или ниже, при переходе на более новую библиотеку придётся быть очень внимательным, т.к. необходимо будет переключить модуль **E20-10** на работу с новыми USB драйверами. Для этого пользователю следует выполнить ряд стандартных действий, используя “*Device Manager*” (“*Диспетчер устройств*”).

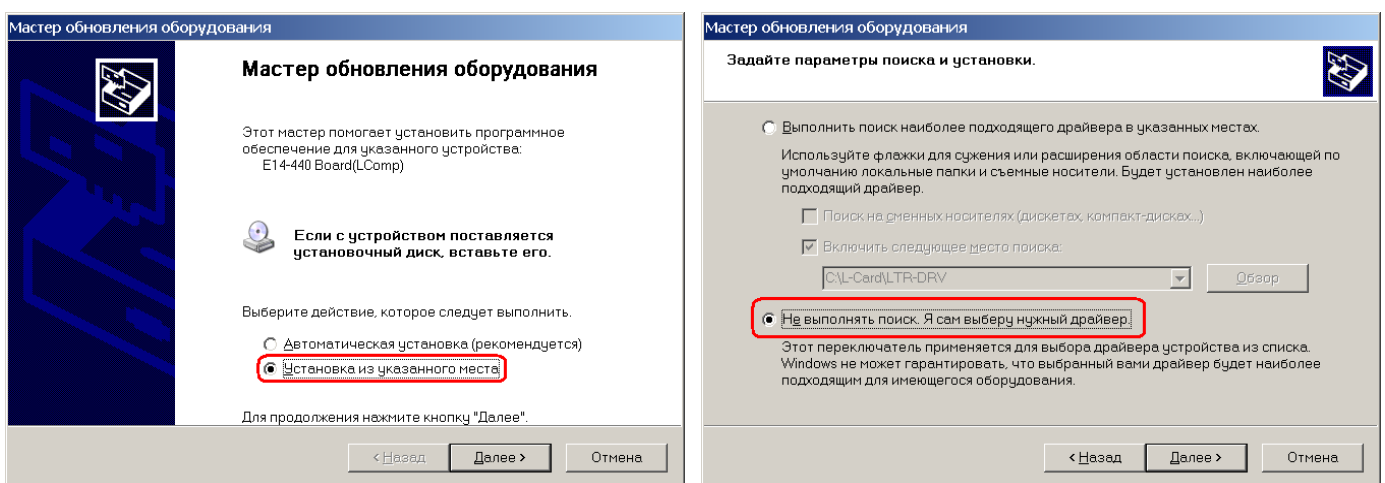
Для начала можно убедиться, что подключенный к компьютеру модуль **E20-10** работает со старым USB драйвером **Ldevusb.sys**. Это делается путём нахождения в “*Device Manager*” (“*Диспетчер устройств*”) устройства типа модуль **E20-10** и последующего вызова панели с его свойствами. Далее на этой панели переходим на закладку “*Driver*” (“*Драйвер*”), на которой щелкаем по кнопочке “*Driver Details...*” (“*Сведения...*”). При этом должна появиться панель со списком всех драйверов, которые задействованы для выбранного устройства. В нашем случае в этом списке должен присутствовать драйвер **Ldevusb.sys**. Это означает, что для работы с модулем **E20-10** используется USB драйвера от библиотеки *Lusbapi* версии **3.1** или ниже.



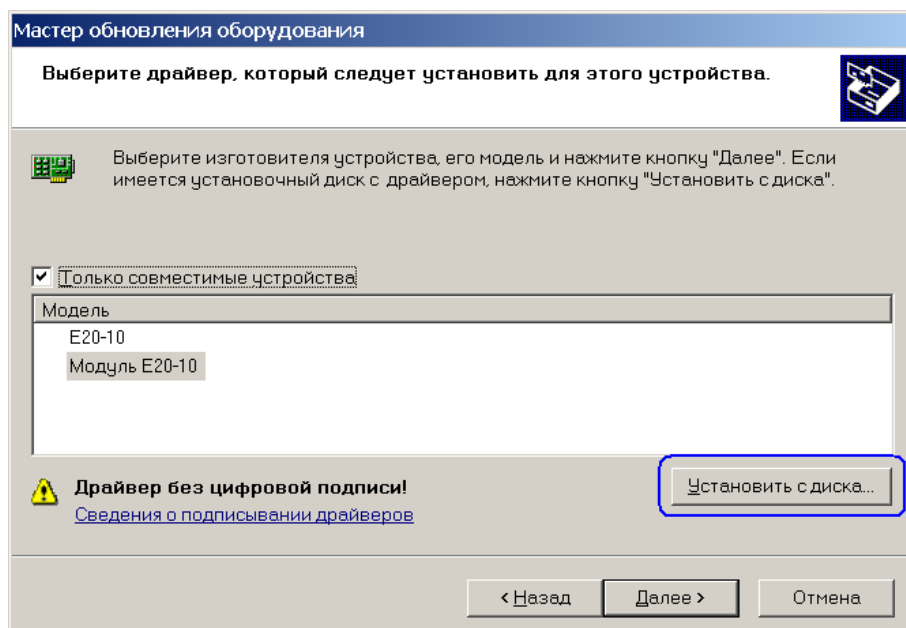
Для перехода на новый USB драйвер (от библиотеки *Lusbapi* версии **3.2** или выше) следует выполнить, например, следующие шаги. В “*Device Manager*” (“*Диспетчере устройств*”) выбрать тот же модуль **E20-10**, о котором говорилось в предыдущем абзаце, и с помощью щелчка правой кнопки мышки вызвать всплывающее меню. В результате всех этих действий должна получиться примерно следующая картина:



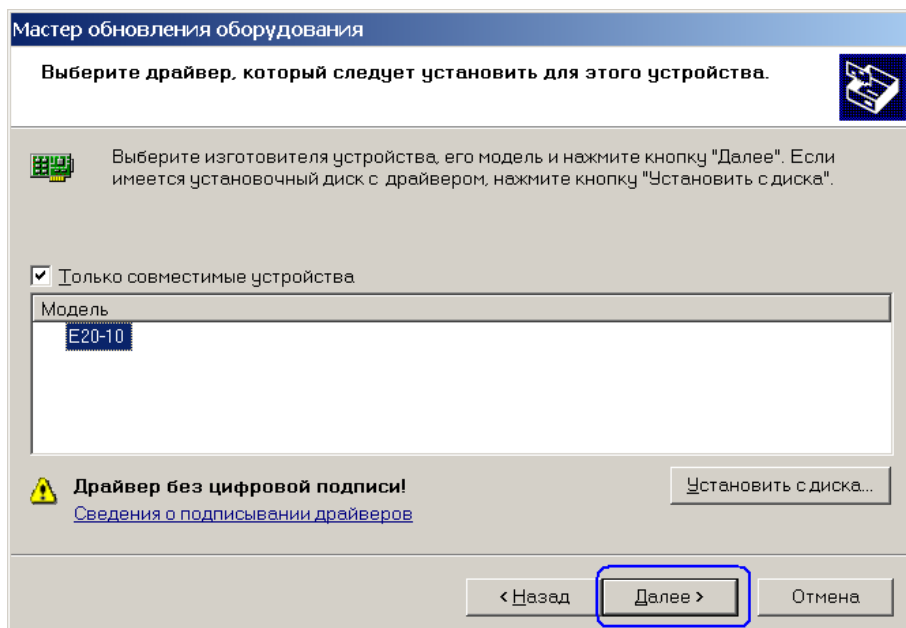
Далее следует с помощью щелчка левой кнопки мыши активировать пункт обновления драйвера. При этом в зависимости от настроек *Windows* возможны появления несущественных в данном случае информационных панелей типа предупреждения об отсутствии цифровой подписи драйвера и предложения поиска драйверов в Интернете. После этого переходим к стандартным информационным панелям “*Hardware Update Wizard*” (“*Мастера обновления оборудования*”), на которых следует указать варианты выбора, приведённые на рисунках ниже, и нажать кнопку “*Next*” (“*Далее*”):



После этого должна появиться следующая панель, на которой следует просто нажать кнопку “*Have Disk...*” (“*Установить с диска...*”).



При этом в появившемся диалоговом окне “*Install From Disk*” (“Установка с диска”) необходимо указать *inf*-файл `\USB\Lusbari\DRV\Lusbari.inf` с нашего фирменного CD-ROM и нажать кнопку “*OK*”. После чего, вернувшись на предыдущую панель, привычно нажать кнопку “*Next*” (“Далее”):



Теперь осталось только довести дело до конца, т.е. добиться от *Windows* заверений в том, что установка драйверов для модуля **E20-10** успешно завершена и устройство полностью готово к дальнейшей работе.

В принципе для работы с модулем **E20-10** на компьютере могут быть одновременно установлены **USB** драйверы, как от старых (версии **3.1** или ниже), так и от новых (версии **3.2** или выше) библиотек *Lusbari*. Весь вопрос лишь в том, **USB** драйвер от какой именно библиотеки будет избран операционной системой при подключении модуля к PC. Прояснить эту ситуацию и определиться с используемым (*активным*) **USB** драйвером можно, заглянув в “*Device Manager*” (“*Диспетчер устройств*”), как это указывалось в начале данного параграфа. Используя штатные средства “*Device Manager*” (“*Диспетчера устройств*”), можно достаточно легко переключаться между обоими **USB** драйверами, т.е. по своему усмотрению делать активными именно те драйвера, которые необходимы для текущей работы с модулем **E20-10**.

5. Обзор аппаратной части и принципы работы

5.1. Функциональная схема

В этой главе сначала приводится описание аппаратной части, которое дает представление о принципах работы **E20-10**, затем приводится детализация функциональных особенностей.

5.1. Функциональная схема

Модуль **E20-10** содержит функциональные узлы, показанные на схеме (рис. 5-1).

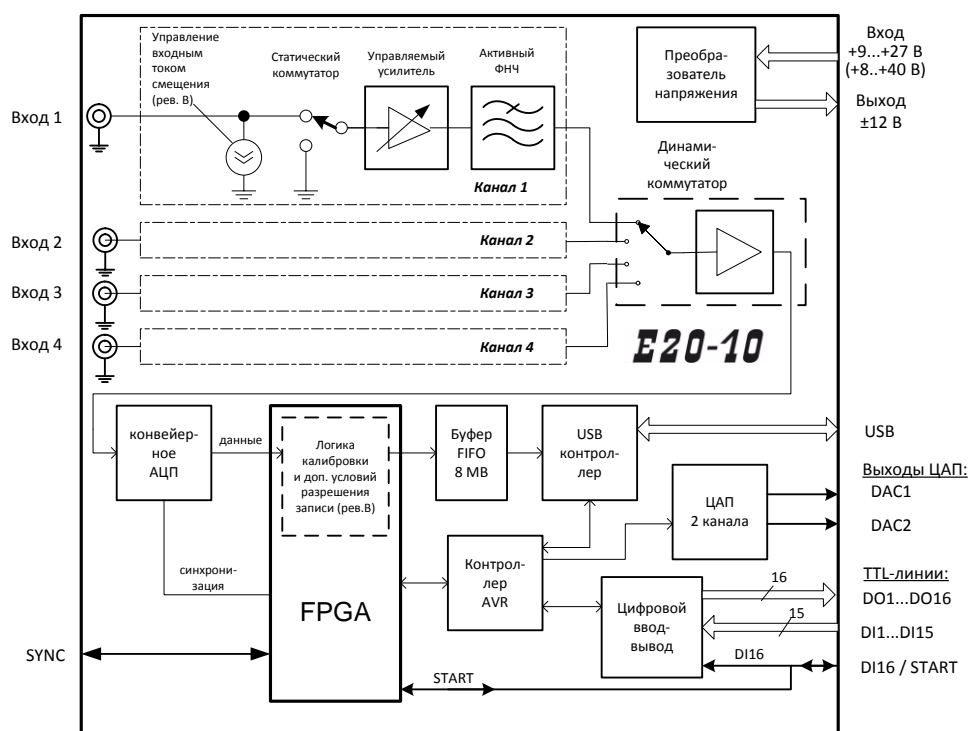


Рис. 5-1. Функциональная схема E20-10

Далее рассмотрим функциональное устройство **E20-10** по этой схеме.

Четыре идентичных аналоговых тракта состоят из схемы управления входным током смещения, входного статического коммутатора, управляемого усилителя, активного ФНЧ 3-го порядка.

Схема управления входным током смещения присутствует только в ревизиях В, В.01 и С модуля **E20-10**. В ревизии А типичный входной ток смещения составляет -7 мкА (в частности, при неподключенном аналоговом входе АЦП этот ток вызывал зашкал в сторону отрицательных значений шкалы АЦП). Этот ток являлся свойством применённой в ревизии А элементной базы усилителя. В старших ревизиях стало возможным применить усилитель со значительно меньшим входным током. Но поскольку факт наличия входного тока ревизии А мог быть использован в различных приложениях (например, как признак подключения внешнего источника сигнала), то в ревизиях В-С отрицательный ток смещения по программной команде может быть включён (при этом ток смещения искусственно создаётся)

для совместимости с прежней ревизией, но по умолчанию в ревизиях В-С входной ток смещения выключен (п. 6.5.4.1).

Входной статический коммутатор служит для включения режима измерения собственно нуля модуля **E20-10** независимо для каждого канала АЦП. Измерение собственного нуля перед сеансом сбора данных и программный учёт измеренного значения позволяет скомпенсировать долговременный температурный и временной дрейф нуля АЦП. Отметим сразу, что для подобной компенсации нуля "на лету" (т.е. во время сбора данных) этот коммутатор не предназначен.

Управляемый усилитель имеет 3 коэффициента передачи, программируемые независимо для каждого канала АЦП. Эти коэффициенты передачи реализуют входные поддиапазоны АЦП: ± 3 В, ± 1 В, $\pm 0,3$ В.

Активный ФНЧ в базовом варианте исполнения имеет частоту среза 1,25 МГц (оптимальную для 4-х канального режима на максимальной частоте сбора), но технически возможны¹⁶ и другие варианты исполнения **E20-10** с другими частотами среза (п. 3.3.2).

Сигнал с выходов активных ФНЧ каждого канала приходит на *динамический коммутатор*, выполняющий коммутацию сигналов с частотой преобразования АЦП с выходов четырёх аналоговых трактов на вход АЦП. Последовательность коммутации номеров каналов произвольно задаётся в управляющей таблице.

Конвейерный АЦП – 14-битный высокочастотный АЦП типа LTC2245 компании Linear Technology. Имеются две важные особенности этого АЦП, которые непосредственно отразились на архитектуре **E20-10**: глубоко конвейеризированная архитектура этого АЦП, диапазон частот преобразования АЦП от 1,0 до 10 МГц.

С выхода АЦП данные поступают в FPGA. В ревизии А **E20-10**, кроме вышеупомянутого подмешивания признака перегрузки разрядной сетки АЦП, поток данных далее не преобразуется, поскольку процедура калибровки данных здесь реализуется средствами верхнего уровня (в компьютере). Калибровать поток в 10 мегасэмплов в секунду (20 МВ/с) "на лету", особенно если к компьютеру подключен не один модуль **E20-10**, – это накладная процедура даже для современного компьютера, поэтому в ревизиях В-С модуля **E20-10** процедура калибровки данных реализована средствами FPGA.

В ревизии А модуля применён FPGA семейства Asex, в ревизиях В, В.01 применён более ресурсоёмкий FPGA семейства Cyclone III, а в ревизии С – Cyclone IV. Эти загружаемые FPGA корпорации Intel выполняют весь комплекс быстродействующих логических операций в **E20-10**. В **E20-10** ревизий А-С прошивка FPGA загружается из компьютера через USB при каждой программной инициализации¹⁷, а в ревизии С – из встроенной flash-памяти E20-10. ООО "Л Кард" не исключает обновлений прошивок FPGA (см. п. 3.3.4) по мере совершенствования **E20-10**.

Микроконтроллер AVR AtMega162 корпорации Atmel (далее будем его называть просто – AVR), этот микроконтроллер осуществляет асинхронное программное управление модулем (по командам верхнего уровня), поддержание обмена информацией по USB, процедуру загрузки и управления FPGA, хранение калибровочных коэффициентов и серийного номера изделия.

В ревизии А **E20-10** используется USB-контроллер ISP1581, это низкоуровневый контроллер USB, управляемый от AVR. В ревизиях В и С применён более современный USB-контроллер ISP1583. Оба этих контроллера корпорации NXP поддерживают протоколы full- и high-speed интерфейса USB.

¹⁶ этот вопрос требует согласования с ООО "Л Кард"

¹⁷ прошивку достаточно загрузить хотя бы один раз после включения питания **E20-10**

Буфер *FIFO* 8 МВ (в ревизии С – 16 МВ) на основе SDRAM используется для буферизации потока данных АЦП. Эта глубина буфера вполне достаточна для работы под любой операционной системой на максимальной частоте преобразования 10 МГц АЦП¹⁸. Логика управления SDRAM реализована в FPGA (про FIFO подробно – п. 5.2.4).

Двухканальный асинхронный ЦАП (опция) управляется от AVR только асинхронным образом посредством *control pipe* интерфейса USB и соответствующей функции верхнего уровня.

Регистр цифрового ввода *DI1...DI16* строго параллельно стробирует 16 TTL-линий данных с цифровых входов, содержимое регистра считывает AVR. Обратите внимание, что линия *DI16/START* имеет программируемую альтернативную функцию двунаправленного сигнала *START* сбора данных.

Регистр цифрового вывода *DO1...DO16* строго параллельно выставляет 16 бит данных на TTL-выходах с возможностью программного управления третьим состоянием выходов, а также с возможностью управления третьим состоянием по сигналу *EN_OE* (табл. 6-2).

Вход-выход синхронизации старта сбора *START*. Если цифровая линия *DI16/START* под асинхронную функцию ввода не задействована, то эта цифровая линия может быть программно настроена на функции "ведущий" (выход) или "ведомый" (вход) сигнала *START*. Эти возможности могут быть использованы, например, для многомодульной синхронизации старта сбора данных нескольких **E20-10** по схеме "один ведущий – несколько ведомых" (п. 5.2.2).

Цифровой вход-выход синхронизации частоты преобразования АЦП *SYNC* может быть использован для многомодульной синхронизации частот преобразований АЦП нескольких **E20-10** по схеме "один ведущий – несколько ведомых" (п. 5.2.2).

В **E20-10** ревизий В-С линии *START* и (или) *SYNC* могут быть задействованы для альтернативной функции синхронного цифрового ввода (п. 5.2.8).

Преобразователь напряжения конвертирует нестабильное входное напряжение +9 В...+27 В (для **E20-10** рев. А и В) или +8...+40 В (рев. В.01, С) в стабильные напряжения питания внутренних узлов **E20-10**. С выхода преобразователя на разъём аналоговых выходов модуля **E20-10** выводится вспомогательное напряжение $\pm 12В$ для питания внешнего устройства.

Светодиодный индикатор (на схеме не показан, выведен на переднюю панель модуля) управляется непосредственно от AVR. Характером и цветом свечения сигнализируется состояние соединений по USB и другие события, подробнее это описано в *Руководстве программиста* [1].

¹⁸ без межкадровых задержек и других настроек, замедляющих скорость сбора данных

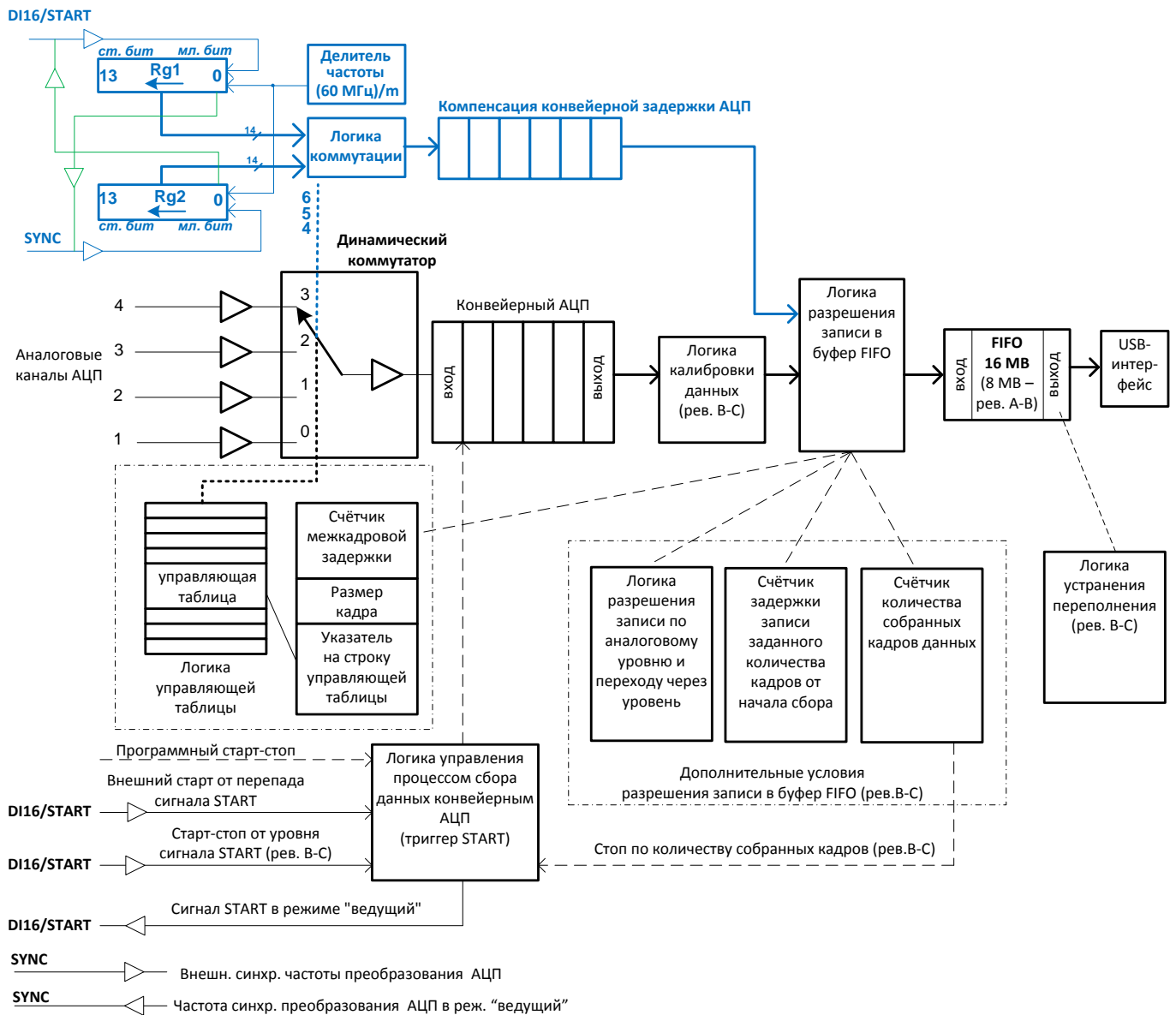


Рис. 5-2. Функциональная схема логического взаимодействия аппаратуры E20-10

Обозначения на рис. 5-2:

- Синим цветом показан дополнительный функционал прошивок FPGA 2.0X.13 и 3.00.04x и старше.
- Зелёным цветом показан дополнительный функционал прошивок FPGA 2.0X.14 и 3.00.05x и старше.

Подробности о синхронных каналах цифрового ввода см. п. 5.2.8. О прошивках FPGA см. в пп. 3.3.4.2, 3.3.4.3.

5.2. Принцип работы E20-10

USB-модуль **E20-10** не использует цепь питания интерфейса USB 2.0. Для включения модуля необходимо подать на него рабочее напряжение питания через разъём питания (п. **6.3.1**) от сетевого адаптера, входящего в комплект поставки (п. **3.3.1**), или от внешнего источника постоянного напряжения. Параметры цепи питания **E20-10** см. в п. **7.4**.

После подачи питания прошитая в AVR программа USB-устройства отработает процедуру соединения по USB, как только по USB-интерфейсу будет обнаружено соединение с компьютером.

После удачного нахождения **E20-10** операционной системой Вашего компьютера¹⁹ модуль готов к работе на уровне программных приложений, использующих поставляемые ООО “Л Кард” библиотечные функции, в частности, в ревизиях А-В модуля **E20-10** с помощью одной из таких функций должна происходить загрузка FPGA **E20-10**, эту загрузку необходимо сделать хотя бы один раз после подачи питания **E20-10** (см. *Руководство программиста* [1]). В ревизии С модуля **E20-10** загрузка FPGA с ПК не требуется, и если она происходит, то загрузка будет проигнорирована.

Далее, с программного уровня будет доступна вся информация о данном модуле **E20-10**, в частности, *серийный номер, ревизия модуля, версия прошивки AVR, версия прошивки FPGA*.

Перед началом сбора данных необходимо программно сконфигурировать модуль, поскольку *во время сбора данных нет возможности менять настройки конфигурации*. Перечислим основные параметры конфигурации:

- *Частота преобразования АЦП* (в диапазоне от 1,0 до 10 МГц).
- *Параметры кадра сбора данных: размер кадра, размер межкадровой задержки*. Количество опрашиваемых входных каналов может быть гибко настроено от 1 до 4. Частота преобразования АЦП делится между опрашиваемыми каналами в соответствии с их количеством и порядком (кратностью) опроса. Требуемый порядок опроса каналов, образующих кадр, предварительно записывается в управляющую таблицу с устанавливаемым размером от 1 до 8192²⁰ тактов АЦП. В процессе сбора данных номера каналов циклически считываются из управляющей таблицы с установленной частотой преобразования АЦП (1...10 МГц) и подаются в качестве сигнала управления на динамический коммутатор. Для получения более низких частот сбора данных программируется межкадровая задержка, которая позволяет получить более низкие частоты сбора данных. При установленной ненулевой межкадровой задержке по окончании цикла выборки управляющей таблицы (при окончании кадра) вставляется соответствующее число холостых периодов преобразования частоты АЦП, данные в которых откидываются на аппаратном уровне, и, таким образом, трафик на USB не перегружается ненужными данными.
- *Режим синхронизации частоты преобразования АЦП* (п. **5.2.2**). Для осуществления механизма внешней и многомодульной синхронизации частоты преобразования АЦП служит конфигурируемый двунаправленный TTL-сигнал SYNC (п. **6.3.1**).

¹⁹ при первом подключении происходит процесс установки драйвера устройства (п. **4.2**)

²⁰ максимальный размер кадра зависит от версии прошивки FPGA (п. **3.3.4**)

- *Режим старта сбора данных* (п. 5.2.2). Для реализации внешнего, многомодульного синхронного старта сбора данных служит конфигурируемый двунаправленный TTL-сигнал START (п. 6.3.1).
- *Входные параметры каналов АЦП*. Важно отметить, что индивидуальные установки каждого канала на требуемый входной поддиапазон напряжений, на входной ток смещения, а также на режим измерения собственного нуля не управляются в динамике (синхронно), а управляются статически и асинхронно от AVR.

На **рис. 5-2** отображены главные функциональные узлы, участвующие в сборе данных. Обратите внимание, что достаточно большое количество новых функциональных узлов, реализованных в ревизии В-С, отсутствовали в ревизии А (см. поясняющие надписи "Рев. В-С" на этом рисунке).

На **рис. 5-2** также разными цветами отображены различия функционала, зависящего от версий прошивки FPGA. Стратегия развития функционала прошивок FPGA E20-10, принятая в ООО "Л Кард", заключается в добавлении новых функций в следующую прошивку с сохранением всего функционала предыдущих прошивок.

В **E20-10 ревизии А** "логика управления процессом сбора данных" заключалась в простом запуске конвейера "АЦП –FIFO–USB-интерфейс" от программного события запуска или от внешнего перепада сигнала START. Собственно, о состоянии запуска АЦП (совместно с логикой управляющей таблицы) свидетельствовал "Триггер START". В ревизии А остановка конвейера (сброс триггера START) происходит только по программному событию остановки конвейера (с последующей очисткой данных FIFO), а логика разрешения записи в буфер FIFO срабатывает только от механизма межкадровой задержки (суть межкадровой задержки объяснена в п. 5.2.1). Характерно, что состояние выходного сигнала START в режиме "ведущий" полностью соответствует состоянию "Триггера START".

В **E20-10 ревизиях В-С** после конвейера АЦП, но перед буфером FIFO, внедрена дополнительная логика разрешения записи в FIFO (и остановка сбора), которая непосредственно связана с анализом данных на выходе АЦП: разрешение записи по аналоговому уровню, счётчик задержки записи заданного количества кадров от начала сбора, счётчик количества собранных кадров. Все эти новые функциональные узлы участвуют в новых механизмах синхронизации ревизий В-С (описание всех режимов синхронизации см. в п. 5.2.2.1), но важно отметить, что эти механизмы связаны не с запуском конвейера сбора данных целиком, а только с работой механизма разрешения записи в буфер FIFO на фоне уже предварительно запущенного АЦП в связке с "логикой управляющей таблицы".

Из этого также следует, что логика поведения "триггера START", а также синхросигнала START в режиме "ведущий" не связана с "дополнительной логикой разрешения записи в буфер". Эта особенность будет важна для понимания описанных ниже режимов синхронизации (п. 5.2.2), где задействован сигнал START.

5.2.1. Принцип опроса каналов

В **E20-10** может быть установлен размер кадра сбора данных от 1 до 8192 тактов АЦП (максимальный размер кадра зависит от версий прошивок FPGA п. 3.3.4). Могут быть заданы: произвольная последовательность опроса номеров каналов внутри кадра, прописанная в управляющей таблице, а также межкадровая задержка от 0 до 255 периодов частоты преобразования АЦП (для **E20-10** ревизии А), или от 0 до 65535 периодов АЦП (для **E20-10** ревизий В-С). Установленный размер управляющей таблицы всегда равен размеру кадра сбора данных. В любом режиме синхронизации старт сбора данных всегда привязан к номеру канала, прописанному в начале управляющей таблицы, а ненулевая межкадровая задержка всегда вставляется после опроса последнего номера канала в конце управляющей таблицы заданного размера. В любом случае, если сбор данных не остановлен, после опроса

номера канала, заданного в последней строке управляющей таблицы, следующий номер канала будет взят с начала управляющей таблицы (и далее по циклу установленного размера кадра). Каждый период циклического чтения номера канала АЦП из управляющей таблицы, а также каждый период счёта межкадровой задержки строго привязан к периоду заданной частоты преобразования АЦП **E20-10** (от 1,0 до 10 МГц).

5.2.2. Синхронизация в E20-10

Если синхронизация не требуется, то используется внутренний источник частоты преобразования АЦП в **E20-10** и простой программный старт сбора данных. Но модуль **E20-10** имеет также средства внешней синхронизации как по частоте преобразования АЦП, так и по старту сбора данных. Это два независимых механизма, которые могут быть использованы как по отдельности, так и вместе.

Синхронизация по частоте преобразования АЦП (в допустимом диапазоне 1,0 – 10 МГц) осуществляется посредством линии SYNC, которая может быть программно настроена на выход либо на вход (табл. 5-1). Это позволяет решить следующие задачи:

- Синхронизация по частоте преобразования АЦП нескольких **E20-10**. Для этого несколько **E20-10** включают по схеме "ведущий–ведомые", соединяя одноимённые цепи GND и SYNC нескольких **E20-10**.
- Выдача сигнала синхронизации частоты преобразования **E20-10** на внешний прибор, например, на частотомер для контроля частоты преобразования.
- Внешняя синхронизация от TTL-сигнала (с частотой 1,0 – 10 МГц и скважностью 2) для внешней синхронизации одного или нескольких **E20-10** по частоте преобразования АЦП.

Синхронизация старта сбора данных посредством линии DI16/START, программно настроенной на вход или на выход (табл. 5-2), позволяет решить следующие задачи:

- Трансляция внутреннего сигнала программного старта сбора данных через линию DI16/START для синхронного запуска сбора данных в других модулях **E20-10**. Для этого несколько **E20-10** включают по схеме "ведущий–ведомые", соединяя одноимённые цепи GND и DI16/START нескольких **E20-10**.
- Синхронизация старта сбора данных **E20-10** от внешнего источника TTL-сигнала.
- Трансляция внутреннего сигнала программного старта сбора данных **E20-10** через TTL-линию DI16/START внешнему прибору для целей синхронизации или индикации протекания процесса сбора данных.

Модуль **E20-10** ревизиях В-С поддерживает *дополнительные условия разрешения записи данных АЦП в буферную память E20-10* (по перепаду сигнала в выбранном канале АЦП, с запретом передачи заданного количество кадров от начала сбора данных), а также *дополнительные условия останова сбора данных* (по количеству собранных кадров данных). Кроме того, в ревизиях В-С введено семейство режимов сбора данных "по уровню". Эти дополнительные условия синхронизации значительно обогащают средства синхронизации модуля **E20-10** ревизиях В-С, по сравнению с ревизией А.

Отметим важное ограничение: *дополнительные условия разрешения записи данных и останова сбора действуют только внутри одного модуля E20-10 и не влияют на поведение сигнала START в межмодульной синхронизации по принципу "ведущий-ведомые"*. В то же время, в разных модулях **E20-10** при желании могут быть поставлены одинаковые *дополнительные условия разрешения записи данных и останова сбора*, и тогда при

соединении "ведущий-ведомый" модулей **E20-10** по сигналам START можно добиться условий синхронного выполнения *дополнительных условий разрешения записи данных и останова сбора данных* в разных модулях **E20-10**.

Естественно, в многомодульных соединениях **E20-10** по принципу "ведущий-ведомый" пользователь должен осмысленно настраивать управляющие таблицы, межкадровые задержки (а в **E20-10** ревизиях В-С также и дополнительные условия разрешения записи в буфер) этих модулей для того, чтобы иметь возможность разобраться в относительных временных привязках между потоками сэмплов, полученных от этих модулей. Сбор данных ведомых **E20-10** следует запускать раньше, поскольку они должны войти в ожидание старта от ведущего. Тогда после запуска сбора данных ведомого сбор данных в ведущих запустится аппаратно и синхронно с ведомым **E20-10**.

Следует учитывать, что при настройке линии SYNC на функцию "ведомый" (при внешней синхронизации частоты преобразования АЦП от внешнего источника цифрового TTL- синхросигнала) некорректно подавать извне импульсы SYNC чаще, чем через 100 нс (10 МГц), или реже, чем через 1000 нс (1,0 МГц), поскольку SYNC в этом режиме непосредственно подаётся на АЦП LTC2245, а, согласно документации производителя, этот АЦП работает в диапазоне частот преобразования от 1,0 до 10 МГц. На скважность сигнала SYNC также накладываются жёсткие требования (п. [7.1.4](#)). Естественно, сигнал SYNC от "ведущего" **E20-10** этим требованиям соответствует.

Обратите внимание, что электрически TTL-линия DI16/START, настроенная "на вход", имеет резисторную подтяжку (обеспечивающую определённое единичное состояние неподключенного входа), а TTL-линия SYNC, настроенная "на вход", резисторной подтяжки не имеет, т. е. *определённость состояния неподключенного входа SYNC не обеспечивается*, [табл. 6-2](#).

5.2.2.1. Режимы синхронизации

Возможные режимы синхронизации **E20-10** описаны в таблицах ниже. Обратите внимание на информацию, в каких именно ревизиях **E20-10** реализован тот или иной режим.

Табл. 5-1. Режимы синхронизации по частоте преобразования АЦП (по сигналу SYNC)

Синхронизация по частоте преобразования АЦП	Реализовано в ревизиях E20-10	Примечания
"Внутренняя"	А, В, В.01, С	Частота преобразования АЦП: $\frac{30}{n}$ МГц, где n=3,4,5,...,29,30. Линия SYNC не используется (переведён в Z-состояние)
"Внутренняя – ведущий"	А, В, В.01, С	Линия SYNC настроена на выход: выдаётся сигнал со скважностью 2 и частотой преобразования АЦП: $\frac{30}{n}$ МГц, где n=3,4,5,...,29,30. Момент физического сэмплирования данных АЦП соответствует фронту выходного сигнала SYNC
"Внешняя – ведомый"	А, В, В.01, С	Линия SYNC используется "на вход" для синхронизации от TTL-выхода внешнего прибора: необходим сигнал с частотой от 1,0 до 10 МГц, со скважностью 2 (меандр)

Табл. 5-2. Режимы синхронизации старта сбора данных (по сигналу START)

Синхронизация старта сбора данных	Реализовано в ревизии E20-10	Примечания
"Программная": – без дополнительных условий старта; – с дополнительными условиями старта, табл. 5-3	А, В, В.01, С В, В.01	Программный асинхронный старт. Возможные условия останова – табл. 5-5 . Линия DI16/START находится в Z-состоянии
"Программная – ведущий по сигналу START": – без дополнительных условий старта; – с дополнительными условиями старта, табл. 5-3	А, В, В.01, С В, В.01, С	Сигнал START ведущего E20-10 подаётся активным уровнем "1" (подсоединённые ведомые E20-10 должны находиться в режиме "по фронту сигнала START"). Возможные условия останова – табл. 5-5 . Линия DI/START находится в состоянии "на выход"

Синхронизация старта сбора данных	Реализовано в ревизии E20-10	Примечания
"Внешняя – ведомый по фронту сигнала START": – без дополнительных условий; – с дополнительными условиями старта, табл. 5-3	A, B, B.01, C B, B.01, C	Запуск от сигнала START. Возможные условия останова – табл. 5-5
"Внешняя – ведомый по спаду" сигнала START": – без дополнительных условий; – с дополнительными условиями старта, табл. 5-3	A, B, B.01, C B, B.01, C	Запуск от сигнала START. Возможные условия останова см. в табл. 5-5
Режимы синхронизации сбора данных "по уровню", табл. 5-3	B, B.01, C	От аналогового уровня сигнала в выбранном канале

Табл. 5-3. Дополнительные условия разрешения записи данных в буферную память E20-10

Дополнительные условия	Реализовано в ревизии E20-10	Примечания
Запрет записи заданного N кадров от начала сбора данных	B, B.01, C	$0 \leq N \leq 16777214$, где N – целое
По переходу снизу вверх через заданный уровень сигнала в выбранном канале и запретом записи N кадров от начала сбора данных	B, B.01, C	$0 \leq N \leq 16777214$, где N – целое
По переходу сверху вниз через заданный уровень сигнала в выбранном канале и запретом записи N кадров от начала сбора данных	B, B.01, C	$0 \leq N \leq 16777214$, где N – целое

Табл. 5-4. Режимы синхронизации "по уровню"

Режимы сбора данных "по уровню" (старт и останов сбора данных происходит от уровня сигнала)	Реализовано в ревизии E20-10	Примечания
"По уровню сигнала выше порога сигнала в 1 канале АЦП"	B, B.01, C	Останов будет происходить на границе конца кадра
"По уровню сигнала выше порога сигнала в 2 канале АЦП"		
"По уровню сигнала выше порога сигнала в 3 канале АЦП"		
"По уровню сигнала выше порога сигнала в 4 канале АЦП"		
"По уровню сигнала ниже порога сигнала в 1 канале АЦП"		
"По уровню сигнала ниже порога сигнала в 2 канале АЦП"		
"По уровню сигнала ниже порога сигнала в 3 канале АЦП"		
"По уровню сигнала ниже порога сигнала в 4 канале АЦП"		

Табл. 5-5. Условия останова сбора данных

Условия останова сбора данных	Реализовано в ревизии E20-10	Примечания
Программный асинхронный останов	А, В, В.01, С	С учётом границ кадра
По количеству M записанных кадров с возможностью повторного запуска сбора данных (см. примечания 1,2) по установленному условию старта, например, для осуществления стартового режима сбора	В, В.01, С	$0 \leq M \leq 16777215$, где M -целое

Примечание 1:

В прошивке FPGA версии 2.00.03 (о версиях прошивок см. п. 3.3.4) для повторного запуска при любом условии старта необходимо дать повторный программный старт на верхнем программном уровне (т.е. фактически осуществлён однократный запуск по условию). В прошивке FPGA 2.00.05 при использовании дополнительного условия старта "по переходу через заданный уровень сигнала в выбранном канале" и условия останова "по количеству M записанных кадров" повторный программный старт не требуется, поскольку после очередного выполнения условия останова повторный старт сбора данных начнётся автоматически после нового выполнения условия старта (т.е. фактически многократный запуск по условию). Для других условий старта прошивка FPGA 2.00.05 идентична прошивке 2.00.03.

Примечание 2:

В будущих версиях прошивок FPGA технически возможно ввести программное управление режимами однократного/многократного запуска (в контексте примечания 1) по любому специфическому условию старта после останова "по количеству M записанных кадров". Отправьте запрос в ООО "Л Кард", если для решения Вашей задачи подобный режим необходим.

Наглядная иллюстрация режимам синхронизации **E20-10** приведена на диаграммах (рис. 5-3). На диаграммах в качестве примера взят размер кадра, равный 4, размер межкадровой задержки, равный 6-ти периодам частоты преобразования АЦП, кадр настроен на последовательный опрос всех 4-х каналов. При таких настройках частота оцифровки данных по каждому каналу АЦП составит $\frac{1}{10}$ установленной частоты преобразования АЦП.

На верхней диаграмме (рис. 5-3) проиллюстрирован общий случай применения всех возможных условий синхронизации (кроме условий синхронизации "по уровню", которые рассматриваются отдельно). В **E20-10** ревизии А был возможен программный старт сбора данных (или по перепаду сигнала START), при этом данные после старта безусловно записывались в буфер FIFO до тех пор, пока с верхнего уровня не будет подан программный останов сбора данных (независимо от границ кадра). В **E20-10** ревизий В-С стали также возможны настройки на дополнительные условия записи по перепаду сигнала, например, как показано на диаграмме, в 3-ем канале АЦП. В этом случае, пока не выполнится указанное дополнительное условие, кадры не будут попадать в буфер FIFO (и, соответственно, не будут попадать в USB). Как только условие выполнится в текущем кадре, данные, начиная со следующего кадра, польются в FIFO и могут быть откачены по USB. Независимо или в качестве второго дополнительного условия в ревизиях В-С может быть поставлен запрет передачи в буфер FIFO заданного количества кадров от начала сбора данных.

Кроме асинхронной программной остановки сбора данных, в ревизиях В-С предусмотрена также остановка по факту сбора заданного количества кадров, при этом граница остановки будет соответствовать концу последнего собранного кадра. Эта возможность фактически позволяет осуществить старт-стопный режим сбора данных по предварительно установленному режиму старта (обратите внимание на примечания к [табл. 5-5](#) о возможностях однократного и многократного запуска).

Как было отмечено в п. [5.2](#) и как отображено на диаграммах, поведение сигнала START в случае его настройки на выход ("ведущий"), не зависит от дополнительных условий запуска.

На нижней диаграмме ([рис. 5-3](#)) показан режим синхронизации сбора данных по уровню сигнала (выше или ниже установленного порога) в выбранном (на диаграмме – на 3-ем) физическом канале АЦП (только в рев. В-С). Как следует из [рис. 5-2](#), сравнение порогового значения будет происходить с калиброванным значением сэмпла, поскольку логика калибровки данных в **E20-10** рев. В-С стоит перед логикой разрешения записи в буфер FIFO. Этот режим синхронизации основан на логике разрешения записи данных в буфер FIFO, при этом старт функционального узла АЦП (совместно с логикой управляющей таблицы) производится заранее, и анализ значений сэмплов АЦП от соответствующего физического канала **E20-10** производится перед записью данных в буфер FIFO. Пока установленное заранее *условие записи* не выполнится ([табл. 5-4](#)), **E20-10** будет находиться в состоянии ожидания. После выполнения в текущем кадре *условия записи* буфер FIFO начнёт наполняться до тех пор, пока условие записи "по уровню" выполняются. При невыполнении условия запись будет приостановлена до тех пор, пока условие "по уровню" не будет выполнено вновь, или до тех пор, пока не будет подана программная команда останова. Таким образом, в режиме синхронизации "по уровню" в буфере FIFO оказываются отселектированные по уровню участки сигналов по выбранному номеру синхронизирующего канала и, вместе с ними, данные от других физических каналов, прописанных в кадре. Соответственно, все эти данные могут быть откачены в компьютер по мере их поступления в буфер FIFO **E20-10**.

При синхронизации "по уровню" аналогового сигнала в **E20-10** рев. В-С для программного различения границ непрерывности данных был введён механизм маркирования первого сэмпла непрерывного участка данных, получаемого от **E20-10** ([рис. 5-2](#)). Если режим маркера включён, то в первый сэмпл каждого непрерывного участка данных вставляется искусственный логический признак, позволяющий на верхнем программном уровне различить начало очередного непрерывного участка данных. Способ представления маркера в формате данных **E20-10** рев. В-С объяснён в п. [5.2.3](#).

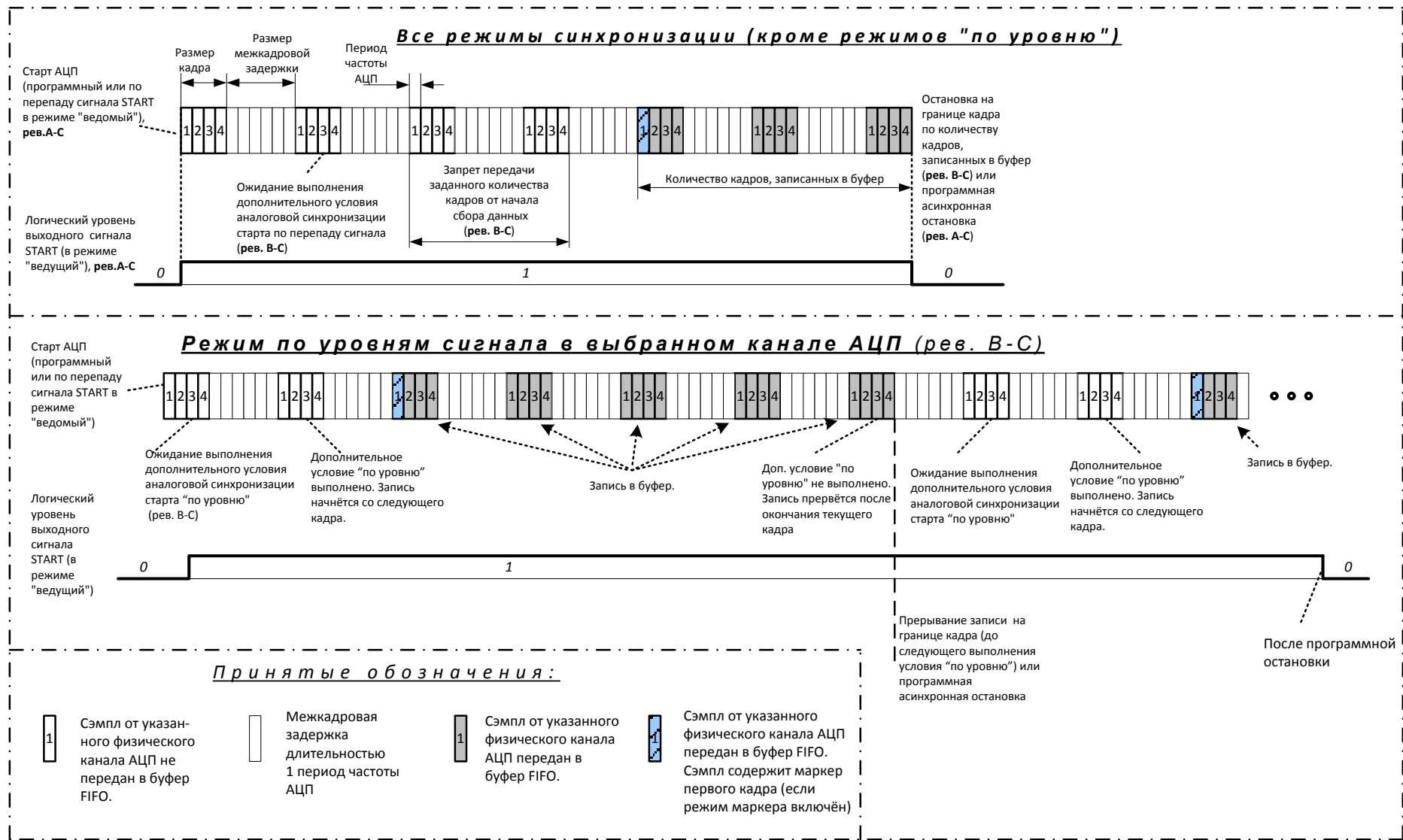


Рис. 5-3 Функциональная схема логического взаимодействия аппаратуры E20-10

5.2.3. Формат данных E20-10

Формат данных от **E20-10** в нормальном режиме (по умолчанию) представляет собой 16-битные целые числа со знаком (в дополнительном коде) в диапазоне от -8192 до +8191. Это означает, что информационными являются 14 младших бит, а 2 старших бита содержат расширенный знак дополнительного кода. В бинарном виде данные выглядят как (слева изображён 15-ый бит, справа – нулевой):

$s s s X X X X X X X X X X X X X X X X$,

где s – расширенный знак кода, X – разряды кода.

Неинформативность двух старших битов кода даёт возможность манипуляции их значением в специальных случаях, описанных в пп. [5.2.3.1](#), [5.2.3.2](#).

Данные АЦП физических каналов с 1-го по 4-ый передаются в зависимости от значения кода (от 0 до 3 соответственно), программно записанного в управляющую таблицу ([рис. 5-2](#)) для соответствующего логического канала.

5.2.3.1. Кодирование признака перегрузки разрядной сетки E20-10 ревизии A

В **E20-10** ревизии A применено следующее кодирование признака перегрузки разрядной сетки (если соответствующий режим включён): если перегрузки нет, то данные передаются в неизменном виде, если есть – данные передаются с инвертированным 14-тым битом данных \check{s} :

$s \check{s} X X X X X X X X X X X X X X X X$

Исходя из свойств представления числа в дополнительном коде, подобная инверсия 14-того бита в любом случае вызовет выход получившегося значения 16-битного кода за диапазон -8192...+8191, – это и является программно различимым признаком наличия перегрузки.

В **E20-10** ревизий B-C признак перегрузки разрядной сетки в формат данных не вставляется (п. [5.2.6](#)).

5.2.3.2. Кодирование начала непрерывного участка данных в E20-10 ревизий B-C

В **E20-10** ревизиях B-C применён маркер начала непрерывного участка данных, который кодируется установкой значения "01" в поле разрядов <15..14>, если режим маркера включён:

$01 s X X X X X X X X X X X X X X X X$

Такое представление маркера даёт простой критерий его программного обнаружения – это значение кода больше 8191.

5.2.3.3. Формат данных синхронных цифровых последовательных входов

В прошивке FPGA 2.00.13 и старше для данных от синхронных цифровых последовательных входов используются следующие новые форматы данных.

MMXXXXXXXXXXXXXXXXX,

где MM – маркер начала непрерывного участка данных (в том же контексте, что и в п. 5.2.3.2), X – разряды кода данных <13:0> синхронных цифровых последовательных входов в следующих форматах, в зависимости от значения кода в управляющей таблице (рис. 5-2):

- **При опросе двух последовательных синхронных цифровых каналов со входов SYNC и DI16/START канала (код 4 в управляющей таблице):**
<6:0> – последовательные данные со входа SYNC от младшего бита к старшему (младшие 6 битов Rg2 на рис. 5-2).
<13:7> – последовательные данные со входа DI16/START от младшего бита к старшему (младшие 6 битов Rg1 на рис. 5-2).
- **При опросе одного последовательного синхронного цифрового канала со входа DI16/START канала (код 5 в управляющей таблице):**
<13:0> – последовательные данные со входа DI16/START от младшего бита к старшему (14 битов Rg1 на рис. 5-2).
- **При опросе одного последовательного синхронного цифрового канала со входа SYNC канала (код 6 в управляющей таблице):**
<13:0> – последовательные данные со входа SYNC от младшего бита к старшему (14 битов Rg2 на рис. 5-2).

Примечание: значения младших битов сдвиговых регистров Rg1, Rg2 соответствуют моменту времени сэмпирования АЦП для данной фазы опроса (если бы в этой фазе был опрос АЦП), а значения остальных битов – это “история” по отношению к значению младшего бита (подробнее о работе оборудования – п. 5.2.8).

5.2.4. Буфер FIFO и логика устранения его переполнения

E20-10 имеет на борту 8 МВ (16 МВ) памяти, в которой организован буфер FIFO. Такой глубины буфера достаточно, чтобы, например, на максимальной частоте сбора 10 МГц (с нулевой межкадровой задержкой) скомпенсировать 400 мс (800 мс) задержки откачки данных по USB операционной системой компьютера. Эксперименты показывают, что этого времени вполне достаточно даже при работе под Windows (под ОС *не* реального времени), при средней загрузке операционной системы остальными приложениями, при отсутствии явной нехватки ресурсов компьютера (подробнее см. *Руководство программиста* [1]). Соответственно, при уменьшении частоты сбора данных, при настройке на ненулевую межкадровую задержку максимальное время задержки откачки данных будет увеличиваться пропорционально уменьшению трафика передачи данных в компьютер. Остановимся далее подробно на обработке внутри **E20-10** самой ситуации переполнения буфера.

В **E20-10** ревизии А возникновение переполнения буфера FIFO приводит к остановке сбора данных и необходимости программе верхнего уровня перезапустить **E20-10** заново, что приводит к достаточно длительному “выпаданию” **E20-10** из процесса сбора данных. Указанный недостаток в значительной степени был учтён в **E20-10** ревизиях В-С. Здесь введена специальная аппаратная логика устранения переполнения буфера FIFO на фоне непрекращающегося сбора данных. При приближении к границе 8 МВ (16 МВ) накопленных в FIFO данных логика устранения переполнения будет откачивать из FIFO данные объёмом, кратным размеру кадра и минимально необходимым для устранения возможности переполнения FIFO. Эти откачанные в аварийном порядке данные выбрасываются из потока

данных, но принципиально сбор данных без сбоя счёта номера канала на верхнем уровне может быть продолжен, поскольку размер отброшенных данных всегда кратен размеру кадра. Итак, в **E20-10** ревизиях В-С переполнение буфера FIFO приведёт к неизбежному (в этой ситуации) разрыву потока данных, но, в отличие от ревизии А, не приведёт к необходимости перезапускать сбор данных **E20-10**.

Важно отметить, что во всех ревизиях **E20-10** имеются средства верхнего программного уровня для сигнализации факта возникновения переполнения буфера FIFO, которые сигнализируют пользователю о том, что поток данных от **E20-10** был разорван (подробнее см. *Руководство программиста* [1]).

5.2.5. *Корректировка показаний (калибровка)*

Модуль **E20-10** поставляется с калибровками, записанными в ООО “Л Кард”. Соответствующие калибровочные коэффициенты (а также серийный номер изделия и другая дополнительная информация) записаны в Flash-памяти контроллера AVR.

Калибровочные коэффициенты, хранящиеся в Flash-памяти AVR, позволяют учесть смещение и ошибки шкалы (коэффициента усиления) аналогового тракта на каждом диапазоне.

В ревизии А модуля процедура линейной коррекции данных (в соответствии с калибровочными коэффициентами, записанными в Flash-памяти AVR) реализована средствами E20-10 верхнего уровня (в компьютере), а ревизиях В-С – средствами FPGA внутри E20-10.

В обеих ревизиях, при желании, механизм калибровки можно не использовать, работая с чистыми некалиброванными данными, но следует иметь в виду, что в этом случае разброс показаний разных экземпляров модулей **E20-10** может достигать 5% шкалы.

Отметим также, что в **E20-10** ревизиях В-С арифметика линейной калибровки – целочисленная данных АЦП, находящихся в диапазоне -8192...8191. Калибровочные коэффициенты в процессе калибровки **E20-10** на предприятии-изготовителе задаются таким образом, чтобы крайние точки каждого входного поддиапазона АЦП соответствовали калиброванным значениям кода ± 8000 .

5.2.6. *Сигнализация перегрузки разрядной сетки АЦП*

Сигнал перегрузки разрядной сетки АЦП присутствует на выходе микросхемы АЦП LTC2245, он формируется для каждого сэмпла АЦП, и этот сигнал используется в **E20-10** для сигнализации этой перегрузки. В ситуации перегрузки некалиброванный код АЦП принимает одно из крайних значений -8192 или 8191 – в зависимости от знака поданного входного напряжения на вход АЦП.

Особо подчеркнём, что в **E20-10** фиксируется не признак переполнения установленного входного поддиапазона АЦП, а признак выхода уровня сигнала за значение установленного поддиапазона АЦП, которое привело к невозможности корректного представления этого уровня преобразователем из-за превышения физических границ преобразования.

В **E20-10** ревизии А признак перегрузки разрядной сетки АЦП при включении соответствующего режима, подмешивается в 16-битный выходной формат данных таким образом, что при положительной перегрузке будет выдан код значительно больше 8191, а при отрицательной – значительно меньше -8192. При этом подразумевается, что на верхнем уровне, если Вы программно включаете признак перегрузки, то случаи превышения диапазона -8192...8191 Вы

должны использовать для программной сигнализации перегрузки, а перед обработкой оцифрованного сигнала в своей программе Вы должны ограничить диапазон данных до -8192...8191. В случае применения на верхнем уровне библиотечной функции калибровки данных АЦП, вышеизложенный принцип выделения признака перегрузки не меняется с той лишь разницей, что к данным **E20-10** применяется функция линейной калибровки.

В ревизиях В-С принято решение полностью отказаться от подмешивания признака перегрузки в поток данных, а поканальную сигнализацию перегрузки осуществлять посредством канала *control pipe* интерфейса USB и соответствующих библиотечных функций. При этом механизм программного запроса определённого количества данных из **E20-10** ревизий В-С согласован с соответствующим программным признаком наличия перегрузки в запрошенном количестве данных.

5.2.7. Опциональный ЦАП

Двухканальный асинхронный ЦАП (опция) управляется от AVR только асинхронным образом посредством *control pipe* интерфейса USB и соответствующей функции верхнего уровня. Это означает, что ЦАП может быть использован только для медленного воспроизведения постоянных напряжений в асинхронном режиме управления со средним временем реакции (десятки миллисекунд), зависимым от текущего времени реакции операционной системы компьютера.

5.2.8. Синхронные цифровые последовательные каналы ввода данных E20-10 (подробно)

На функциональной схеме [рис. 5-2](#) показаны узлы синхронного цифрового ввода, реализованные в прошивках FPGA 2.0x.13, 3.00.04x и старше (в п. [5.2.3.3](#) были рассмотрены форматы данных этих каналов ввода). Рассмотрим ниже подробнее работу этих узлов с помощью [рис. 5-4](#).

К ранее реализованным функциям входов-выходов DI16/START, SYNC в прошивках FPGA 2.0x.13, 3.00.04x и старше добавилась альтернативная функция синхронного ввода данных на основе 14-битных сдвиговых регистров Rg1, Rg2, в которые последовательно вдвигаются данные с программируемой частотой $F_{SFT} = \frac{60 \text{ МГц}}{m}$, где m – целое число от 1 до 65536.

Если параметры кадра сбора данных реализуют периодичный параллельный ввод данных с регистров Rg1, Rg2 с частотой F_{SD} и отношение $b = \frac{60 \text{ МГц}}{m \cdot F_{SD}}$ имеет целое значение, то можно утверждать²¹, что на момент параллельного считывания значений регистров Rg1, Rg2 в них находились b значащих битов, где значение младшего бита соответствует текущему времени сэмпирования данных АЦП (если бы в данной фазе опроса сэмпировались данные АЦП), а значения младших битов “уходят в историю” от младшего бита к старшему с дискретностью, равной периоду частоты $\frac{60 \text{ МГц}}{m}$.

²¹ Утверждение основано на том, что все процессы в FPGA отдельного взятого E20-10 синхронны относительно единого тактового генератора 60 МГц.

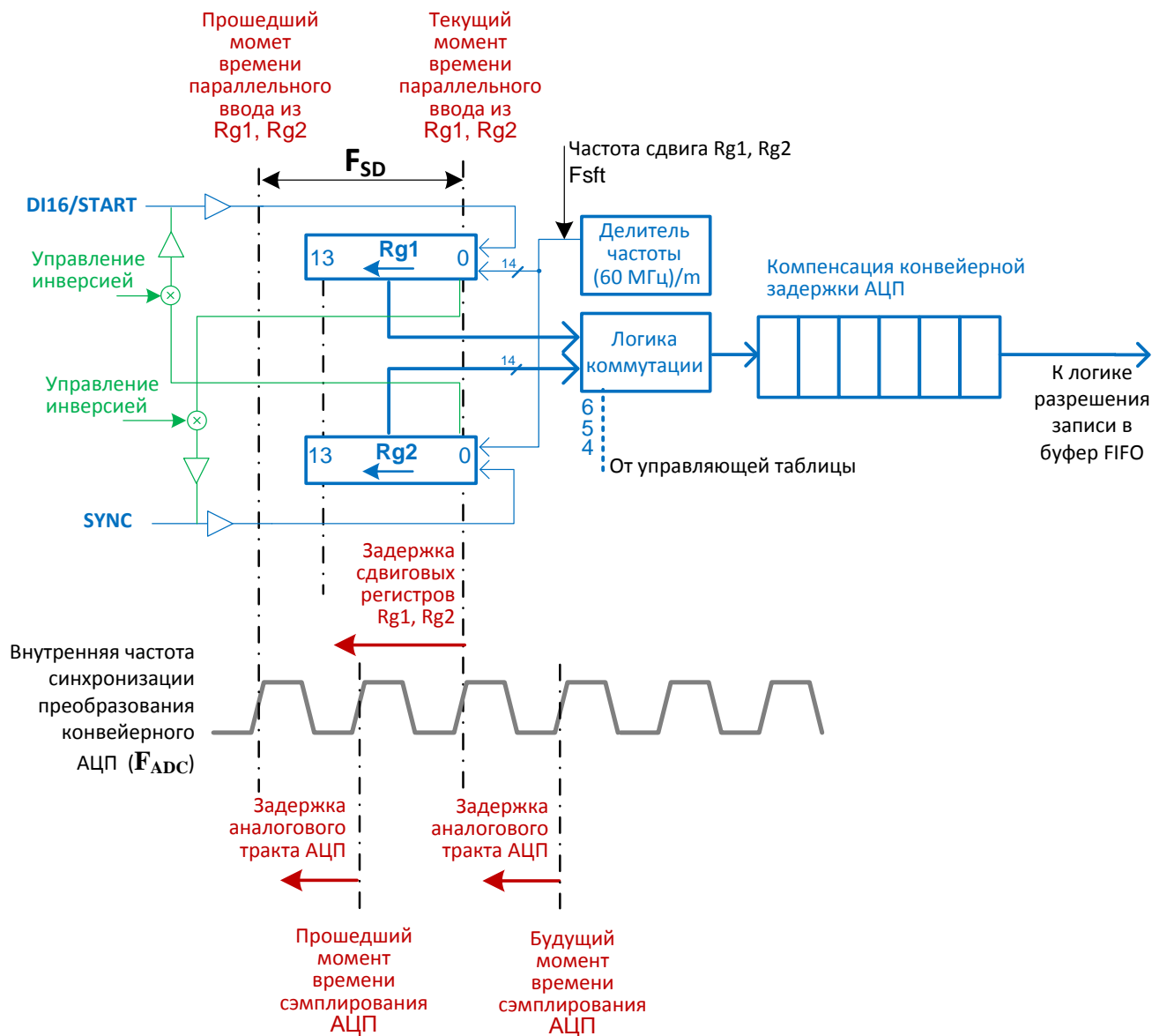


Рис. 5-4. Функциональная схема синхронных цифровых каналов последовательного ввода

При опросе двух последовательных синхронных цифровых каналов со входов SYNC и DI16/START канала (код 4 в управляющей таблице, п. 5.2.3.3) значение b должно быть целым от 1 до 7, а при опросе одного синхронного цифрового канала (коды 5,6 в управляющей таблице) значение b должно быть целым от 1 до 14. Настраивая параметры кадра сбора данных (включая межкадровую задержку) и делитель m частоты сдвига, оптимальным можно считать максимальное значение b при выполнении описанных выше условий.

На верхнем программном уровне, чтобы восстановить непрерывную битовую последовательность с частотой F_{SFT} , нужно из принятых форматов данных состыковать младших b битов из соответствующих полей Rg1 или Rg2.

В таблице ниже перечислены наиболее простые режимы настроек, использующие нулевую межкадровую задержку и максимальную $F_{ADC} = 10$ МГц.

Табл. 5-6. Типичные варианты настроек синхронного цифрового ввода

Частота дискретизации АЦП на канал, МГц	Кол-во каналов АЦП	Частота цифрового синхронного ввода, МГц (F_{SFT})	Кол-во каналов цифрового синхронного ввода	Примечание
-	0	60	2	$m=1, b=6, F_{SD}=10$ МГц
5	1	60	1	$m=1, b=12, F_{SD}=5$ МГц
5	1	30	2	$m=2, b=6, F_{SD}=5$ МГц
3,333	2	20	2	$m=3, b=6, F_{SD}=3,333$ МГц
2,5	3	15	2	$m=4, b=6, F_{SD}=2,5$ МГц
2	4	12	2	$m=5, b=6, F_{SD}=2$ МГц

Заметим, что данные функции синхронного ввода будут работать не только, когда линии DI16/START, SYNC настроены на вход, но и на выход, когда они транслируют сигналы синхронизации. Например, режим синхронного ввода с линии SYNC, настроенной на трансляцию частоты преобразования АЦП, будет интересен для наблюдения задержек каналов АЦП по отношению к частоте преобразования F_{ADC} .

Если в многомодульной конфигурации (п. 5.2.2) какая-то из линий DI16/START или SYNC использована “на вход” для синхронного ввода данных от стороннего источника, то соответствующая функция многомодульной синхронизации, использующая эту линию ведомого модуля E20-10, не может быть применена.

Если в многомодульной конфигурации E20-10 для сигнала SYNC “ведомого” E20-10 разрешить канал синхронного ввода данных, то данный режим возможен, но только условно, поскольку частоты процессов сдвига регистров Rg1, Rg2 и их параллельного чтения не будут когерентны, и тогда на верхнем программном уровне усложнится интерпретация битовой последовательности при склейке b битов из каждого принятого слова данных. “Условно” – это значит: при условии, что пользователь будет в своём методе интерпретации данных учитывать эту некогерентность. Значение погрешности частоты преобразования E20-10 приведена в п. 7.1 на стр. 62.

5.2.8.1. Расширенные функции линий DI16/START и SYNC, настроенных на выход

Здесь описан дополнительный функционал прошивок FPGA 2.0x.14, 3.00.05x (и старше), который позволяет, в случае использования одного канала синхронного цифрового ввода сигнала с одной из линий SYNC или DI16/START, вторую линию использовать на выход для вывода сигнала с младшего разряда сдвигового регистра Rg1 или Rg2 использованного канала (как показано на рис. 5-2 и рис. 5-4 зелёным цветом).

Данный функционал позволяет непосредственно контролировать внешней системой пользователя оцифрованный синхронный битовый поток, который был введён с соответствующего входа E20-10.

С учётом возможности управления инверсией выходного сигнала, поведение одной из линий SYNC и START, настроенной на выход, будет зависеть от значений соответствующих программируемых полей `extension_syn_out_mode<7:0>` и `extension_start_out_mode<7:0>`, как это описано в табл. 5-5.

Табл. 5-7. Расширенные функции выходных линий DI16/START и SYNC

Настройки линий		Расширенные функции (в прошивках FPGA 2.0x.14, 3.00.05x и старше)
DI16/START	SYNC	
“На вход”	“На выход”	<p>В зависимости от значения поля extension_syn_out_mode<7:0>:</p> <p>“0” – Нет функции расширения (режим совместимости “по умолчанию”).</p> <p>“1” – На выход SYNC транслируется сигнал с выхода Rg1<0> цифрового сдвигового регистра данных, пришедших со входа DI16/START.</p> <p>“2” – На выход SYNC транслируется инверсный сигнал с выхода Rg1<0> цифрового сдвигового регистра данных, пришедших со входа DI16/START.</p> <p>“3” – “255” Значения резервированы для развития (Линия SYNC удерживается в направлении “на вход”).</p> <p>Значение extension_start_out_mode<7:0> не влияет на функционал</p>
“На выход”	“На вход”	<p>В зависимости от значения поля extension_start_out_mode<7:0>:</p> <p>“0” – Нет функции расширения (режим совместимости “по умолчанию”).</p> <p>“1” – На выход линии DI16/START транслируется сигнал с выхода Rg2<0> цифрового сдвигового регистра данных, пришедших со входа SYNC.</p> <p>“2” – На выход линии DI16/START транслируется инверсный сигнал с выхода Rg2<0> цифрового сдвигового регистра данных, пришедших со входа SYNC.</p> <p>“3” – “255” Значения резервированы для развития (Линия DI16/START удерживается в направлении “на вход”).</p> <p>Значение extension_syn_out_mode<7:0> не влияет на функционал</p>
“На выход”	“На выход”	<p>При extension_syn_out_mode<7:0> = 0 и extension_start_out_mode<7:0> = 0 нет функций расширения (режим совместимости со старым функционалом).</p> <p>Настройки extension_syn_out_mode<7:0> ≠ 0 или extension_start_out_mode<7:0> ≠ 0 не рекомендованы и не имеют практического смысла</p>
“На вход”	“На вход”	<p>Нет функций расширения (режим совместимости со старым функционалом) независимо от extension_syn_out_mode<7:0> и extension_start_out_mode<7:0></p>

Максимальная задержка сигнала на выходной линии по отношению к входной оценивается величиной $\frac{1}{F_{SFT}} + 65 * 10^{-9}$ с, где частота F_{SFT} (п. 5.2.8) задана в герцах.

Фактическая задержка сигнала на выходной линии по отношению к входной зависит от фазы частоты F_{SFT} , температуры окружающей среды и экземпляра E20-10.

6. Подключение сигналов

Эта глава разъясняет назначение сигналов на разъемах **E20-10**, а также предельно допустимые характеристики и способы подключения сигналов.

6.1. Общие сведения

Подключение сигналов и распайка разъемов возлагаются на пользователя системы. Кабельные части разъемов для подключения сигналов (кроме кабельных BNC) содержатся в комплекте поставки (п. [3.3](#)).

Монтаж сигнальных цепей с подключением источников сигнала, датчиков и т.п. к модулю E20-10 должен осуществлять специалист соответствующей квалификации.

Пользовательские подключения, влекущие за собой превышение предельно допустимых значений напряжений и токов, могут вызвать ухудшение параметров **E20-10** или выход из строя **E20-10**, компьютера и другого подсоединенного оборудования. ООО «Л Кард» не несет ответственности за ущерб, причинённый электрически некорректным подключением сигналов.

Полезную информацию о способах подключения сигналов к измерительной системе и борьбы с помехами Вы найдете в специальной статье: *Решение вопросов электросовместимости и помехозащиты при подключении измерительных приборов на примере продукции фирмы L-Card* Л.[2]. Ссылки на статьи с примерами подключений Л.[3], а также по оптимизации подключений Л.[4] приведены в разделе [Литература](#) настоящего руководства на стр. [75](#).

6.2. Внешние разъемы

В настоящем разделе приводятся подробные описания разъемов **E20-10** с точки зрения внешних подключений.

Диапазоны напряжений, присутствующие в таблицах при описании сигналов, выведенных на контакты разъемов, *всегда приводятся относительно контакта AGND для аналоговых сигналов и относительно контакта GND – для цифровых.*

Концепция компоновки разъемов в **E20-10** следующая: спереди находятся разъемы аналоговых сигналов, сзади – цифровых.

6.3. Разъёмы аналоговых сигналов

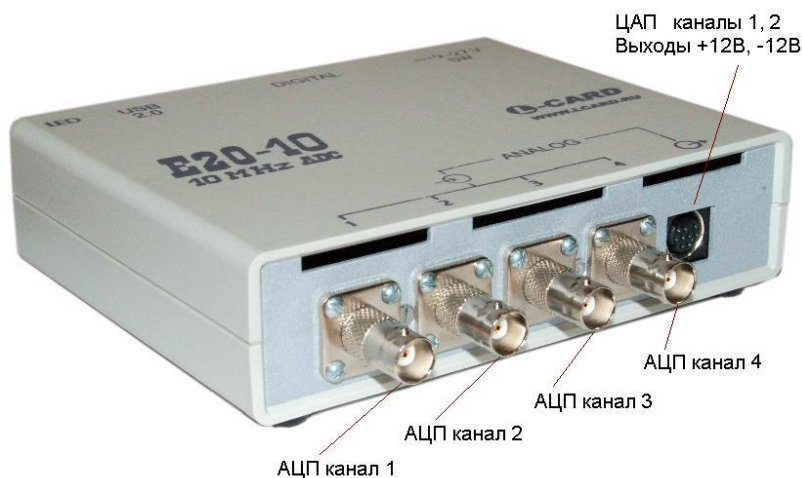


Рис. 6-1. Разъёмы аналоговых входов

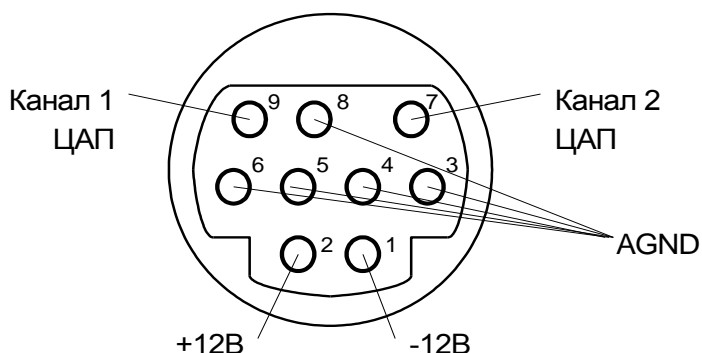


Рис. 6-2. Разъём аналоговых выходов

Тип разъемов четырёх аналоговых входов модуля **E20-10** – блочная розетка BNC, ей соответствует кабельный разъём – кабельная вилка BNC. Соответствие каналов показано на [рис. 6-1](#). Это же соответствие наглядно показано на корпусе **E20-10**.

Практически, в случае аккуратного обращения с **E20-10** с Вашей стороны, не запрещается (*но не рекомендуется!*) в качестве кабельного разъёма использовать не импортный BNC, а отечественный разъём серии СР-50, но при этом *возможны затруднения*²² при соединении-разъединении этого разъёма с блочным разъёмом BNC на модуле **E20-10**.

²² Корни этой проблемы – в несоответствии метрических стандартов бывшего СССР западным дюймовым стандартам

Внимание! Из-за несоответствия размеров отечественных разъемов стандарту BNC использование разъемов серии CP-50 (кабельных частей или переходников) в отдельных случаях может привести к повреждению блочных разъемов BNC в **E20-10**.

Тип разъемов двух аналоговых выходов ЦАП и выходов питания **E20-10** – 9-контактное гнездо MiniDIN. Назначение контактов показано на **рис. 6-2**. Соответствующий кабельный разъем – это 9-контактная кабельная вилка MiniDIN.

Табл. 6-1. Назначение аналоговых сигналов на разъемах

Обозначение сигнала	Общая точка	Направление	Описание
Канал 1 АЦП	AGND	Вход	Однофазный (с общей землёй) вход канала 1 АЦП, экран разъёма соединён AGND
Канал 2 АЦП	AGND	Вход	Однофазный (с общей землёй) вход канала 2 АЦП, экран разъёма соединён AGND
Канал 3 АЦП	AGND	Вход	Однофазный (с общей землёй) вход канала 3 АЦП, экран разъёма соединён AGND
Канал 4 АЦП	AGND	Вход	Однофазный (с общей землёй) вход канала 4 АЦП, экран разъёма соединён AGND
Канал 1 ЦАП	AGND	Выход	Однофазный (с общей землёй) выход канала 1 ЦАП
Канал 2 ЦАП	AGND	Выход	Однофазный (с общей землёй) выход канала 2 ЦАП
+12В, -12В	AGND	Выходы	Двуполярный (относительно AGND) выход питания внешнего устройства
AGND	-	-	Аналоговая земля E20-10

6.3.1. Разъёмы цифровых сигналов и внешнего питания

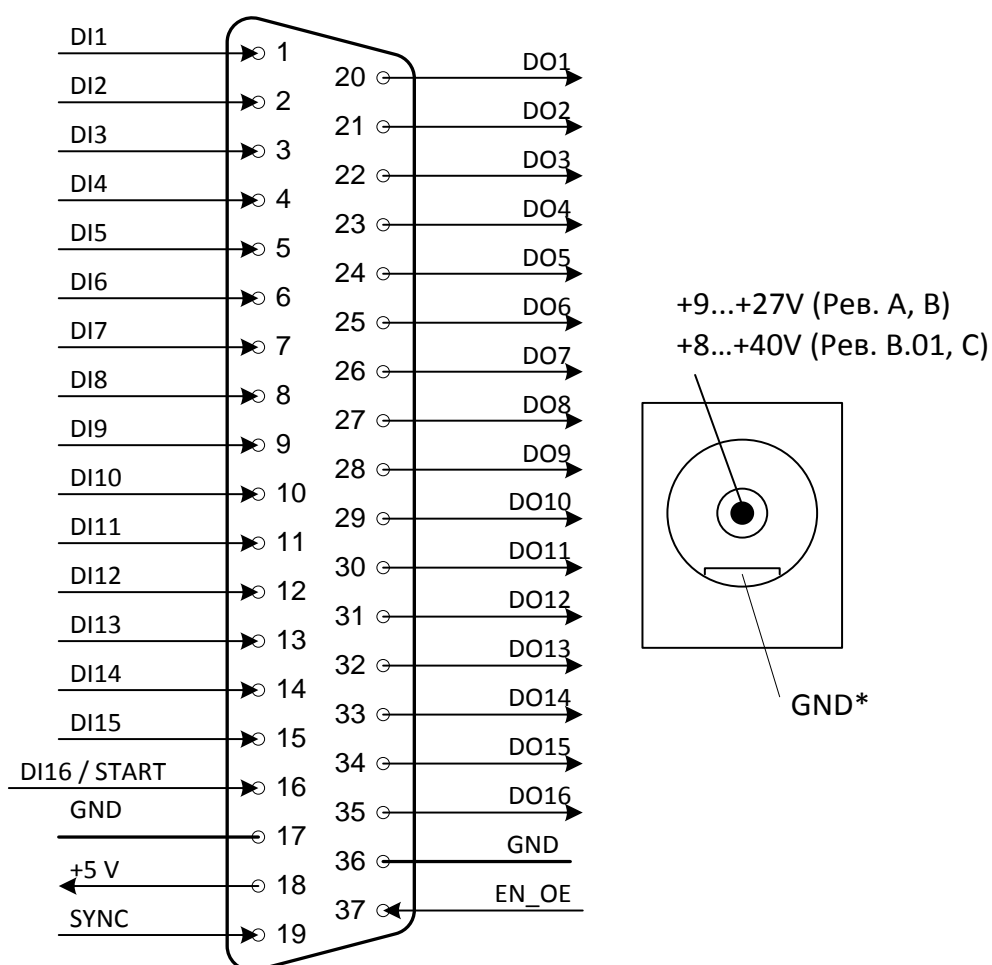


Рис. 6-3. Разъёмы цифровых сигналов и внешнего питания

Тип разъема цифровых сигналов ввода-вывода в **E20-10**: DRB-37F, соответствующая кабельная часть разъема – DB-37M.

Внимание! Металлическая окантовка (корпус) кабельного разъёма DB-37M не должна быть соединена с какой-либо цепью.

Тип разъёма внешнего питания: DJK-02A, соответствующая ему кабельная часть – DJK-10A.

Табл. 6-2. Сигналы разъёма DIGITAL I/O

Обозначение	Общая точка	Направление	Состояние после	Описание
DI<16...1>	GND	Вход		16-битный цифровой вход: DI1 – младший бит, DI16 – старший бит. Линия DI16/START является разделяемой для сигналов DI16 и START, в зависимости от программных настроек
DO<16...1>	GND	Выход	Z-состояние	16-битный цифровой выход: DO16 – старший бит, DO1 – младший бит
GND	-	-	-	Цифровая земля
+5V	GND	Выход	+4,75...+5,0V	Выход +5V питания внешних цепей, см. п. 6.4.5
SYNC	GND	Вход-выход		Вход-выход сигнала синхронизации АЦП (резисторная подтяжка отсутствует)
START	GND	Вход-выход		Вход-выход сигнала старта сбора данных. Линия DI16/START является разделяемой для сигналов DI16 и START в зависимости от программных настроек. Имеется подтяжка резистором 4,7 кОм к цепи +5 V
+8...+40 V (рев. В.01, С) +9...+27 V (рев. А, В)	GND*	Вход		Вход напряжения +8...+40 V (+9...+27 V) от внешнего источника питания 5 W. О цепи GND* см. п. 6.5.3
EN_OE	GND	Вход		Вход управления режимом принудительной установки линий DO<16...1> на активный выход сразу после подачи питания на модуль, в этом случае, функция программного управления разрешением выхода игнорируется. Для включения режима необходимо замкнуть цепи EN_OE и GND на кабельной части разъёма цифровых сигналов. При неподключенном входе EN_OE устанавливается режим программного управления разрешением выхода

6.4. Характеристики входов и выходов сигнальных линий

Внимание! Перед подключением модуля **E20-10** к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведенные в таблицах настоящего раздела.

Фирма-изготовитель не несет ответственности при выходе E20-10 из строя по причине превышения предельно допустимых режимов эксплуатации.

В таблицах настоящего раздела приняты следующие обозначения:

AI - аналоговый вход;

DI - цифровой вход;

DOZ - цифровой выход с возможностью перехода в Z-состояние;

DIO - цифровой вход-выход;

AIO - аналоговый вход-выход.

6.4.1. Рабочий режим

Модуль **E20-10** имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий.

Табл. 6-3. Характеристики входов и выходов сигнальных линий, рабочий режим

Сигнал	Тип	Входное сопротивление	Предельно допустимые условия на входе	Предельно допустимые условия на выходе	Резисторная подтяжка
Входы каналов АЦП	AI	Не менее 5 МОм (рев. А) 10 МОм (рев. В-С)	± 10 В		
Выходы каналов ЦАП	АО			Допускается короткое замыкание выхода относительно AGND	
INT, DI1... DI15	DI	4,7 кОм	-0,2В...+5,2В относительно GND		4,7 кОм относительно +5V
На линии DI16/ START	DIO	4,7 кОм при настройке на вход	-0,2В...+5,2В относительно GND		4,7 кОм относительно +5V
DO1... DO16	DO Z	—	—	± 20 мА	—

Сигнал	Тип	Входное сопротивление	Предельно допустимые условия на входе	Предельно допустимые условия на выходе	Резисторная подтяжка
SYNC	DIO	Не менее 100 кОм при настройке на вход	-0,2...+5,2 В относительно GND	±20 мА при настройке на выход	

Внимание: Не рекомендуется снимать с **E20-10** более 0,7...1 Вт суммарной мощности по всем выходным цепям **E20-10**.

6.4.2. Выключенный режим

Модуль **E20-10**, отключенный от внешнего источника питания, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий.

Табл. 6-4. Характеристики входов и выходов сигнальных линий, выключенный режим

Сигнал	Тип	Входное сопротивление	Предельно допустимое напряжение на входе	Предельно допустимые условия на выходе
Входы каналов	AI	Не менее 1 кОм	±10В	—
Выходы каналов	AO	—	—	—
DI1...DI15	DI	Не менее 600 Ом	-0,2...+5,2 В относительно	—
На линии DI16/START	DIO	Не менее 600 Ом	-0,2...+5,2 В относительно GND	-0,2...+5,2 В относительно GND
DO<1...16>	DOZ			-0,2...+5,2 В относительно GND
SYNC	DIO	Не менее 600 Ом	-0,2...+5,2 В относительно	

6.4.3. Предельные сквозные токи

Внутри в **E20-10** цепи AGND, GND, GND*, присутствующие на разъёмах модуля, связаны между собой (п. 6.5.3). Это накладывает ограничения на предельно допустимые сквозные токи по цепям AGND-GND-GND*.

Внимание! Превышение предельно допустимых сквозных токов может привести к выходу из строя **E20-10**.

Табл. 6-5. Предельно допустимые сквозные токи

Цепь	Предельно допустимый сквозной ток
AGND-GND	0,1 А
AGND-GND*	0,1 А
GND-GND*	0,7 А

6.4.4. Характеристика входа внешнего питания

При питании **E20-10** не от сетевого адаптера, входящего в комплект поставки (п. 3.3.1), а от внешнего источника постоянного тока, учитывайте следующие параметры.

Табл. 6-6. Характеристики входа внешнего питания

Параметр	Значение в ревизиях E20-10	
	A, B	B.01, C
Рабочий диапазон напряжений	+9,0...+27 В (порог включения +9,5 В)	+8,0...+40 В
Предельно допустимое напряжение	-30...+30 В	-45...+45 В
Потребляемая мощность в рабочем режиме без нагрузки выходных цепей E20-10	Не более 5 Вт (рев. A) Не более 4,5 Вт (рев. B)	Не более 4,5 Вт

6.4.5. Характеристика выходов внешнего питания

При снятии с **E20-10** токов для питания внешних устройств следует учитывать характеристики выходов внешнего питания.

Табл. 6-7. Характеристики выходов внешнего питания

Источник питания внешних цепей	$\pm 12\text{ V}$	$+5\text{ V}$
Максимальный выходной ток	2 x 35 мА	35 мА 100 мА для E20-10 ревизий В.01 и С
Защита по току	Тепловая защита стабилизатора	Тепловая защита стабилизатора

Внимание! Не рекомендуется снимать с **E20-10** более 0,7...1 Вт суммарной мощности по всем выходным цепям **E20-10**.

6.5. Специфика и примеры подключения

В этот раздел вынесены отдельные важные особенности подключения к модулю **E20-10** внешних цепей.

6.5.1. Подключения к USB

Следует учитывать следующие особенности:

- Скорость 20 MB/s (соответствует частоте сбора данных 10 МГц при нулевой межкадровой задержке) близка к максимальной практической скорости *high-speed* USB 2.0 интерфейса. Это в частности означает, что два **E20-10**, подключенных к одному USB-хабу (или одному USB-контроллеру компьютера), смогут работать только до 10 MB/s каждый.
- С одной стороны, современные USB3.0 – хабы должны обеспечивать скорость 20 MB/s по каждому нисходящему (downstream) порту, с другой стороны, производителей хабов никто не обязывает это обеспечивать, и в погоне за удешевлением товара возможны варианты ²³...
- При смешанном подключении *high-speed* и *full-speed* USB устройств к одному и тому же USB-хабу скорость USB будет выставляться по самому медленному устройству, т.е. только *full-speed*.
- При скорости *full-speed* (USB 1.1) предельно достижимая скорость передачи данных **E20-10** – 1 MB/s (АЦП 500 кГц), она может быть выставлена путём соответствующей настройки межкадровой задержки. При больших частотах будет происходить переполнение буфера FIFO **E20-10**, поскольку пропускная способность USB *full-speed* не обеспечит необходимой скорости откачки данных из **E20-10** (переполнение буфера приведёт к потере данных, но не должно привести к потере работоспособности E20-10).
- При использовании нескольких **E20-10** на скорости передачи более 10 MB/s рекомендуется их подключать к разным контроллерам компьютера – в этом случае не должно быть проблем с пропускной способностью (в противном случае, внутренний USB-хаб на материнской плате не обеспечит 20 MB/s по каждому порту). При необходимости в дополнительных USB-контроллерах применяйте дополнительные PCI или PCI Express карты расширения USB-портов из расчёта: 1 карта на 1 модуль E20-10 (это практически гарантирует обеспечение необходимой скорости по USB).
- Следует учитывать, что при использовании нескольких модулей E20-10 на максимальной скорости с одним компьютером имеются объективные физические ограничения:
 - физической скорости записи на жёсткий диск (если Ваше ПО использует такую запись);
 - скоростью работы чипсета с ОЗУ компьютера, поскольку передача данных от E20-10 в ОЗУ компьютера происходит по DMA (т.е. с минимальным участием процессора компьютера);
 - загруженностью компьютера сторонними задачами, активно работающими с ОЗУ.
- Максимальная длина кабеля USB по стандарту – 5 м.

²³ ООО “Л Кард” не может гарантировать качество стороннего товара; для выбранного хаба перед его покупкой следует уточнить максимальные скорости по downstream-портам.

Внимание! Во избежание сбоев **E20-10** (особенно на высоких скоростях работы) крайне не рекомендуется использовать выносные порты расширения USB компьютера для подключения **E20-10** (это те порты, которые используют штырьковые двухрядные разъёмы²⁴ на материнских платах с кабелями-удлинителями и дополнительными USB-разъёмами, которые располагаются обычно либо сзади системного блока на дополнительных планках, либо вынесены вперёд корпуса компьютера) из-за недостаточного качества этих соединений для столь высокоскоростного устройства, как **E20-10**, по нескольким важным характеристикам: незранированный разъём на материнской плате, частично или полностью незранированный кабель от этого разъёма, некачественное подсоединение экрана кабеля и выносного разъёма.

6.5.2. Многомодульные соединения

В многомодульных конфигурациях с **E20-10** должны соблюдаться следующие правила:

Если модули между собой соединяются по цифровым линиям (в том числе и по линиям синхронизации, прерывания), то цепи GND модулей также должны быть соединены между собой.

Если разные модули гальванически связаны по каким-либо цепям, но используют разные PC или разные USB-хабы от индивидуальных источников питания, то эти PC или USB-хабы должны иметь общее заземление (если цепь заземления предусмотрена), а цепи GND модулей должны быть соединены между собой.

При соединении двунаправленных линий разных модулей между собой следует исключать противоречивое состояние *выход на выход*, которое может привести к перегрузке линий **E20-10**.

Вопросы подключения модулей к USB рассмотрены **6.5.1**. О правильном использовании цепей GND, GND* и AGND при соединении устройств см. в **6.5.3**.

В многомодульных соединениях E20-10 вероятны повышенные уровни сквозных токов (пп. **6.5.3, 6.5.4.4-6.5.4.6**). Методы преодоления: правильное заземление, синфазные фильтры (предоставляются конкретные рекомендации при условии подробного описания конкретного случая подключения – по запросу в ООО “Л Кард”).

²⁴ вообще говоря, такой разъём USB даже не предусмотрен спецификациями USB 1.1, 2.0 и 3.0 [10] [11]

6.5.3. Цепи GND, GND* и AGND

При подключении внешних цепей модуля **E20-10** следует исходить из его внутренней схемы соединения общих проводов от разных разъёмов – **Рис. 6-4**.

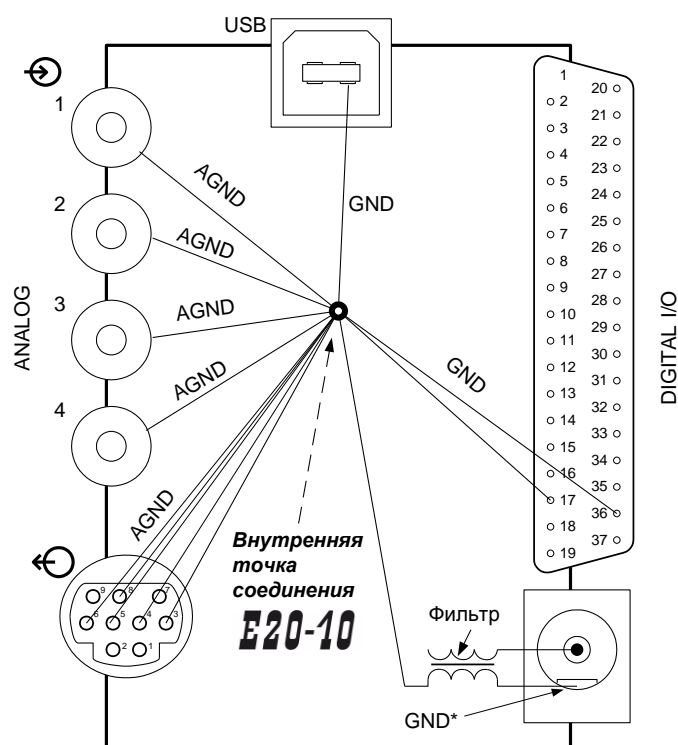


Рис. 6-4. Цепи GND, GND* и AGND

Модуль **E20-10** не имеет внутренних гальваноразвязок и, следовательно, цепи GND, GND* и AGND имеют внутреннюю связь (п. 6.5.3): общий провод цифровых цепей GND в одной точке внутри **E20-10** соединяется с общим проводом аналоговых цепей AGND. К этой же внутренней точке **E20-10** через *синфазный помехоподавляющий фильтр* подсоединён общий провод внешнего источника питания.

Принципиально, что общий провод интерфейса USB от компьютера (соединённый с корпусом компьютера) также подсоединён в точку соединения общих проводов внутри **E20-10**.

При подключении **E20-10** к внешним цепям следует помнить, что наиболее правильное подключение **E20-10** – это то, которое не приводит к протеканию сквозных токов по цепям:

GND–AGND, GND–корпус компьютера или AGND–GND–корпус компьютера.

Внимание! Наличие вышеуказанных сквозных токов может ухудшить соотношение сигнал-шум в каналах **E20-10**, вызвать неустойчивую работу USB или USB-хаба, а при превышении предельно допустимых сквозных токов (**табл. 6-5**) вывести из строя **E20-10** и присоединённое оборудование.

Если же такие токи в Вашей системе по какой-либо причине неизбежны, то следует принять меры по его минимизации (пп. 6.5.4.5, 6.5.4.6).

Общие рекомендации по подключению измерительных приборов Вы можете найти в специальной статье [2].

6.5.4. Подключение входа АЦП

Здесь будут рассмотрен ряд практически важных вопросов подключения входа АЦП.

6.5.4.1. Собственный входной ток аналогового входа АЦП

Этот ток являлся свойством применённой в ревизии А элементной базы усилителя. В ревизиях В-С стало возможным применить усилитель с несравнимо меньшим входным током (порядка 10 нА). Но поскольку факт наличия входного тока ревизии А мог быть использован в различных приложениях (например, как признак подключения внешнего источника сигнала), то в ревизиях В-С отрицательный ток смещения по программной команде может быть включён (при этом ток смещения искусственно создаётся) для совместимости с прежней ревизией, но *по умолчанию в ревизиях В-С входной ток смещения выключен*, см. [рис. 6-5](#).

Собственный ток входа АЦП **E20-10** ревизии А имеет отрицательный знак, поэтому **при неподключенном аналоговом входе E20-10 будет наблюдаться “зашкал” в сторону отрицательных значений**. Из этого, с одной стороны, следует детерминированность состояния неподключенного аналогового входа, с другой стороны, накладывает ограничение на внутреннее сопротивление источника сигнала по постоянному току, поскольку значение собственного входного тока, умноженное на внутреннее сопротивление источника сигнала (по постоянному току), даст постоянное напряжение смещения входного сигнала **E20-10**. Например, при сопротивлении источника 50 Ом типичное напряжение смещения составит 0,35 мВ, а при 1 кОм – составит 7 мВ.

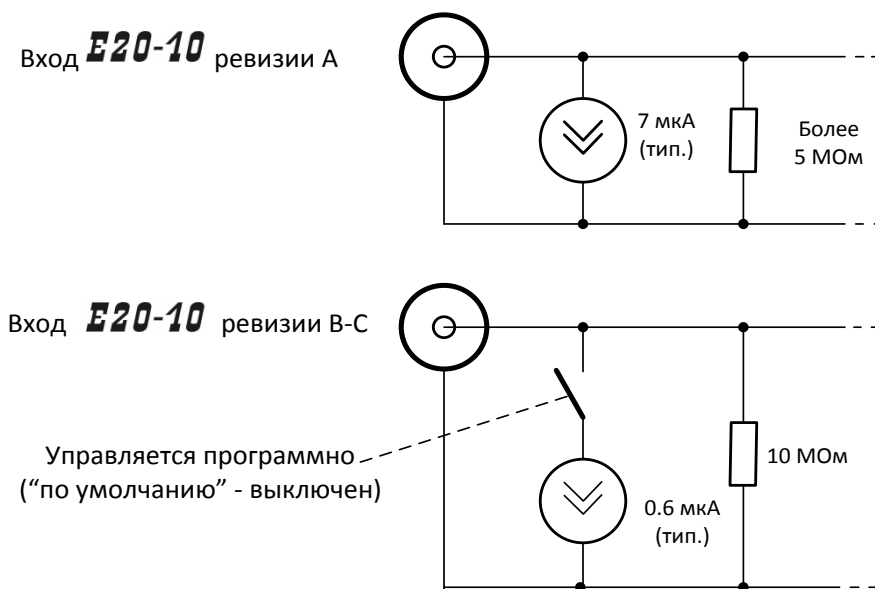


Рис. 6-5. Эквивалентные схемы входной цепи АЦП по постоянному току (отличия ревизий А от В-С)

6.5.4.2. Подключение к высокоомному выходу и выходу переменного тока

В случае E20-10 ревизии А, если выход Вашего источника сигнала – это выход переменного тока, содержащий последовательный разделительный конденсатор (т.е. по постоянному току – обрыв или сопротивление более 10 кОм), тогда при подключении к такому выходу необходимо дополнительное подключение параллельного резистора (желательно не более 1 кОм) к выходу источника сигнала²⁵. Этот резистор создаст требуемое сопротивление источника по постоянному току и сведёт к минимуму влияние входного тока (п. 6.5.4.1) на напряжение смещения нуля входа АЦП. Можно констатировать: **вход АЦП E20-10 ревизии А несовместим с источником сигнала сопротивлением более 10 кОм по постоянному току.**

В случае E20-10 ревизий В-С в аналогичной ситуации минимизация входного напряжения смещения входа АЦП может быть достигнута программным отключением входного тока смещения, и в этом случае снимается принципиальное ограничение ревизии А.

Заметим также, что во всех ревизиях **E20-10** невысокое внутреннее сопротивление источника сигнала желательно совсем по другой причине – для оптимизации соотношения “сигнал-шум”.

6.5.4.3. О возможности подключения стандартного осциллографического щупа

Разъёмы BNC входов АЦП **E20-10** наводят пользователей на мысль о возможности подключения стандартного щупа с делителем 1:1/1:10, рассчитанного на входное сопротивление осциллографа 1 МОм и входную ёмкость 15-30 пФ. Следует учесть, что по постоянному току в режиме **1:10** такой щуп по отношению к входу АЦП эквивалентен высокоомному источнику сигнала (более 10 кОм) и с **E20-10** ревизией А такой щуп *в режиме 1:10 несовместим с E20-10 ревизии А* (п. 6.5.4.2), но совместим с **E20-10** ревизий В-С, если входной ток будет программно отключён (“по умолчанию” в ревизии В-С входной ток отключен). При этом потребуется согласовать щуп. Рассмотрим эти вопросы подробнее.

Стандартный осциллографический щуп, как правило, рассчитан на входное сопротивление осциллографа 1 МОм. В режиме 1:10 входное сопротивление прибора выполняет роль “нижнего плеча” делителя напряжения щупа 1:10, в то время как проходное сопротивление щупа (порядка 9 МОм) выполняет роль “верхнего плеча” делителя. *Таким образом, для обеспечения функции деления 1:10 щупа осциллографа необходимо подключение параллельно входу E20-10 резистора 1,1 МОм.* Этот резистор, включенный параллельно входному сопротивлению E20-10, в совокупности обеспечит требуемые 1 МОм для нагрузки стандартного щупа осциллографа.

Можно считать, что в режиме 1:1 стандартный щуп осциллографа оказывается достаточно хорошо согласован в полосе частот до 5 МГц со входом АЦП **E20-10** любой ревизии, поскольку в режиме 1:1 по постоянному току проходное сопротивление щупа не слишком высоко, а несогласованность по переменному току сказывается на более высоких частотах, не попадающих в полосу пропускания входа АЦП. При этом возможность отключения входного тока **E20-10** ревизии В обеспечивает возможность подключения щупа 1:1 к высокоомным источникам сигнала, как в случае работы с обычным осциллографом.

²⁵ Естественно, сама возможность подключения такого резистора зависит от типа и нагрузочной способности источника сигнала

Точное согласование щупа по переменному току в режиме 1:10 может быть выполнено штатным построочным конденсатором, который расположен на разъёме BNC щупа, если, конечно, Ваш щуп имеет такую подстройку.

Подключение параллельно входу E20-10 резистора 1,1 МОм, как это было рекомендовано выше, технически может быть выполнено посредством включения щупа осциллографа через BNC-переходник-нагрузку²⁶.

6.5.4.4. О влиянии сквозных токов на соотношение сигнал-шум

Вход АЦП **E20-10** имеет двуполярный, однофазный вход напряжения без гальваноразвязки (классификацию типов входов см. в Л.[2]).

Если Вы намереваетесь получить наилучшее соотношение “сигнал-шум” при соединении однофазного входа АЦП **E20-10** с внешним прибором (источником сигнала), следует обеспечить нулевой ток (во всей полосе частот), текущий по экрану коаксиального кабеля входной цепи АЦП, поскольку падение напряжения на сквозном импедансе цепи экрана кабеля в значительной степени суммируется с напряжением полезного сигнала на входе АЦП, что приводит к ухудшению соотношения “сигнал-шум”.

6.5.4.5. Как обнаружить, что сквозные токи ухудшают сигнал-шум в Вашей схеме соединения?

Допустим, Вы соединили вход АЦП **E20-10** с внешним прибором и обнаружили в спектре оцифрованного сигнала помехи, которых нет на выходе внешнего прибора. Локализация причины проблемы:

- Отсоедините разъём коаксиального кабеля от прибора (второй конец кабеля остаётся подключенным к **E20-10**) и замкните центральный контакт отсоединённого разъёма на его корпус. Если помеха в оцифрованном сигнала исчезла, значит, она рождается не в **E20-10** и не в кабеле по причине его неисправности.
- Оставляя замкнутый центральный контакт разъёма, соедините корпус разъёма с корпусом выходного разъёма прибора. Если помеха появилась, то это означает, что её вызвали сквозные токи. Если же помеха не появилась, то это свидетельствует, что помеха присутствует в самом сигнале на выходе прибора.

6.5.4.6. Как решить проблему, если сквозные токи обнаружены?

Существуют следующие технические пути решения:

- *Электрически близко* заземлять соединяемые приборы, укорачивать соединительные провода.
- Применять дополнительные устройства гальваноразвязки в системе, разрывающие контуры сквозных токов по общим проводам.

²⁶ Данный переходник ООО “Л Кард” не поставляет. При значительной потребности ООО “Л Кард” готов рассмотреть возможность выпуска модификации E20-10 с входным сопротивлением 1 МОм. При заинтересованности в такой модификации E20-10 обращайтесь, пожалуйста, в офис ООО “Л Кард” или в конференцию на сайте www.lcard.ru

- Подключать сигнал к входу АЦП **E20-10** через внешний синфазный фильтр²⁷, который скомпенсирует переменный сквозной ток, и помеха не будет присутствовать в сигнале.

6.5.4.7. О неподключенных входах АЦП

Внимание! Неподключенные входы рекомендуется установить в режим измерения собственного нуля или их не следует опрашивать.

Собственный ток входа АЦП (кроме случая **E20-10** ревизий В-С с программно выключенным входным током) на неподключенных входах АЦП может создать входное напряжение, превышающее установленный поддиапазон входного сигнала. Во всех случаях, если в режиме перегрузки входа опрашивать соответствующий канал в процессе сбора данных, то это может вызвать некоторое увеличение межканального прохождения. Поэтому в штатном режиме работы неподключенный вход следует либо настроить на режим измерения собственного нуля, (это устранил перегрузку), либо не опрашивать (т.е. в управляющей таблице не должен присутствовать код канала, соответствующий неподключенному входу).

6.5.5. Подключение цифровых линий и линий синхронизации

Все цифровые линии **E20-10** (рис. 6-3) имеют цепь общего провода GND, относительно которого должны быть выполнены связи с внешними цифровыми узлами. Внешнее подключение цепи GND всегда должно учитывать её внутреннее подключение (п. 6.5.3).

Для реализации схемы подключения “ведущий–ведомые” рядом расположенные модули **E20-10** (от 2-х до 5-ти шт.) можно соединить витыми парами кратчайшим путём. По смыслу требуется во всех **E20-10** соединить их одноимённые цепи (рис. 6-3): GND–GND, SYNC–SYNC, DI16/START–DI16/START. При реализации связей витыми парами один из проводов в паре всегда должен быть цепью GND.

Оптимальная топология связей короткими витыми парами – это когда от “ведущего” по лучевому принципу кратчайшим путём расходится по две витых пары на каждый “ведомый”, а неоптимальная – это топология последовательного обхода. Реально, бывает приемлем компромиссный вариант между первым и вторым. Короткие витые пары можно заменить короткими отрезками экранированных проводов (GND-экран).

Выше был рассмотрен случай коротких связей рядом расположенных **E20-10**, однако существует техническая возможность значительно увеличить длину связей и количество синхронизируемых **E20-10**. Если многократно ретранслировать с помощью микросхемы передатчика сигналы START и SYNC от ведущего **E20-10** (питание +5V имеется на разъёме), то количество соединяемых **E20-10** по схеме "ведущий-ведомые" технически не ограничено! Один из примеров такого подключения по технологии MLVDS рассмотрен в Л.[3], см. стр. 75.

²⁷ По техническим деталям построения такого фильтра в зависимости от характера источника сигнала Вы можете получить техническую консультацию в ООО “Л Кард”

7. Спецификации

Все приводимые ниже характеристики **E20-10** соответствуют подключению к стандартному *USB 2.0* порту компьютера.

В приводимых ниже спецификациях указаны основные параметры **E20-10** по назначению для рабочего режима работы.

Внимание! Предельные характеристики модуля **E20-10**, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приводятся в п. [6.4](#).

7.1. АЦП

Наименование характеристики	Значение
Число каналов	4 с общей землёй (однофазных)
Разрядность АЦП	14 бит
Поддиапазоны входного сигнала	± 3 В; ± 1 В; $\pm 0,3$ В – независимая программная настройка для каждого канала
Пределы допускаемой приведенной основной погрешности измерений напряжения постоянного тока	$\pm 0,25$ %
Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения переменного тока	Согласно п. 7.1.1 , 7.1.2
Пределы допускаемой относительной основной погрешности частоты преобразований АЦП	$\pm 0,005$ %
Типичное отношение “сигнал-шум”	70 дБ (для E20-10 ревизии А) 73 дБ (для E20-10 ревизий <u>В-С</u>)
Пределы допускаемой дополнительной погрешности от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 °С	0,5 от пределов допускаемой основной погрешности
Максимальная частота преобразования АЦП	10.0
Минимальная частота преобразования АЦП	1,00 МГц (меньшие частоты сбора данных возможны с использованием внутреннего механизма межкадровой задержки, реализующего прореживание данных)

Смещение нуля при неподключенном входе АЦП	Менее 1 мВ (типично) для E20-10 рев. В-С
Параметры кадра отсчётов АЦП: – Размер кадра – Последовательность опроса каналов АЦП внутри кадра	От 1 до 8192 отсчётов АЦП (в прошивке FPGA 2.00.07 или старше, см. п. 3.3.4) произвольная (программируется)
Время межкадровой задержки: для E20-10 ревизии А для E20-10 ревизии В	Программируется: 0 – 255 периодов частоты преобразования АЦП 0 – 65535 периодов частоты преобразования АЦП
Минимальная скорость сбора данных при максимальной межкадровой задержке и частоте преобразования АЦП 1 МГц	7,8 кбайт/с (для E20-10 ревизии А) 30 байт/с (для E20-10 ревизии В-С)
Максимальная скорость сбора данных при нулевой межкадровой задержке и частоте преобразования АЦП 10 МГц	20 Мбайт/с
Сетка частот преобразования АЦП при внутренней синхронизации	$F_{\text{ADC}} = 30/k$ [МГц], где $k = \{3, 4, 5, \dots, 30\}$
Входное сопротивление аналогового входа АЦП по постоянному току	Не менее 5 МОм (для E20-10 ревизии А) 10±0,5 МОм (для E20-10 ревизии В-С)
Собственный входной ток аналогового входа: для E20-10 ревизии А для E20-10 ревизии В-С	-15...0 мкА (типичное значение -7 мкА) 10 нА (типичное значение)
Типичное значение верхней частоты полосы пропускания тракта преобразования по уровню -3 дБ: E20-10, E20-10-D, E20-10-D-I E20-10-1, E20-10-D-1, E20-10-D-1-I	1,2 МГц 4,5 МГц (на поддиапазоне ±3 В) 5,2 МГц (на поддиапазоне ±1 В) 3,5 МГц (на поддиапазоне ±0,3 В)
Межканальное прохождение для E20-10 ревизии А, не более: – на постоянном напряжении – на частоте 1 кГц – на частоте 1 МГц для E20-10 ревизии В-С, не хуже: – на постоянном напряжении – на частоте 1 кГц – на частоте 1 МГц	-50 дБ -70 дБ -60 дБ -70 дБ -75 дБ -65 дБ
Устойчивость к перегрузкам входным измерительным сигналом напряжения постоянного тока	±10 В (п. 6.4)
Возможность коррекции данных (калибровка с использованием заводских калибровочных коэффициентов)	Имеется (для E20-10 ревизии А – программно, в компьютере, для E20-10 ревизий В-С – аппаратными средствами E20-10) (п. 5.2.5)

7.1.1. E20-10, E20-10-I, E20-10-D-I: пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения переменного тока

Диапазон частот входного сигнала, кГц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения переменного тока, %
от 0,01 до 20 включ.	$\pm [0,2 + 0,02 \times (\frac{X_{AC}}{X} - 1)]$
свыше 20 до 300 включ.	$\pm [2 + 0,03 \times (\frac{X_{AC}}{X} - 1)]$
свыше 300 до 500 включ.	$\pm [3 + 0,05 \times (\frac{X_{AC}}{X} - 1)]$
свыше 500 до 1000	$\pm [15 + 0,1 \times (\frac{X_{AC}}{X} - 1)]$
<p>Примечания</p> <p>1 Погрешность измерений напряжения переменного тока нормируется для сигналов, пиковые значения которых не превышают значение установленного поддиапазона измерений.</p> <p>2 X_{AC} – предел измерений напряжения переменного тока, $X_{AC} = \frac{X_K}{\sqrt{2}}$, где X_K – значение установленного поддиапазона измерений напряжения.</p> <p>3 X – значение измеряемого напряжения.</p>	

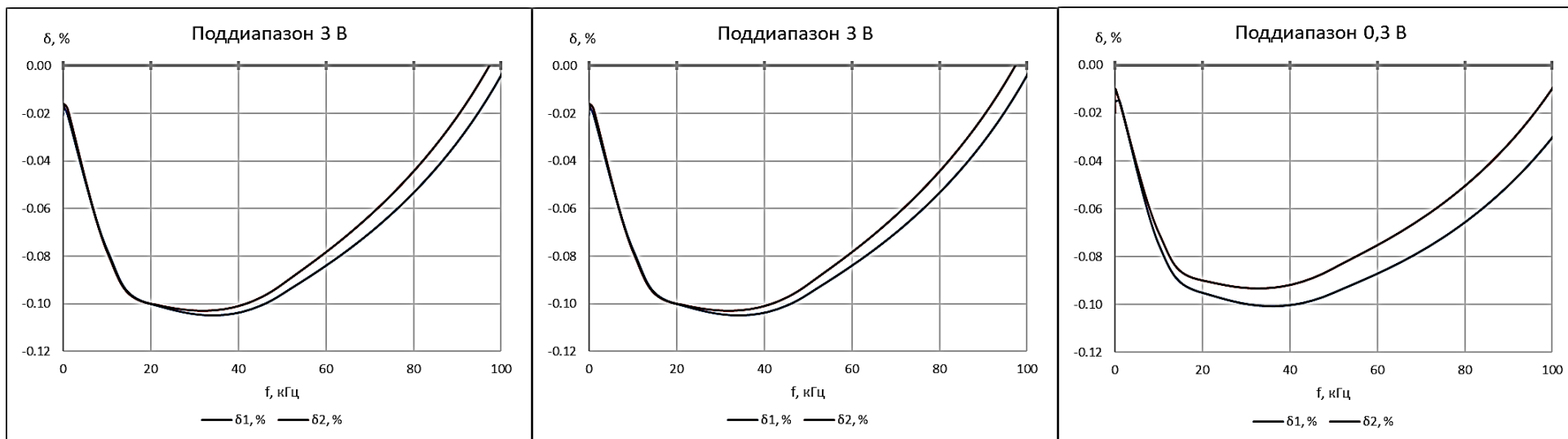
7.1.2. E20-10-1, E20-10-1-I, E20-10-D-1-I: пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения переменного тока

Диапазон частот входного сигнала, кГц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения переменного тока, %
от 0,01 до 20 включ.	$\pm [0,2 + 0,02 \times (\frac{X_{AC}}{X} - 1)]$
свыше 20 до 300 включ.	$\pm [2 + 0,03 \times (\frac{X_{AC}}{X} - 1)]$
свыше 300 до 1000 включ.	$\pm [3 + 0,05 \times (\frac{X_{AC}}{X} - 1)]$
свыше 1000 до 2000 включ.	$\pm [5 + 0,1 \times (\frac{X_{AC}}{X} - 1)]$
свыше 2000 до 4900	$\pm [30 + 0,3 \times (\frac{X_{AC}}{X} - 1)]$
<p>Примечания</p> <p>1 Погрешность измерений напряжения переменного тока нормируется для сигналов, пиковые значения которых не превышают значение установленного поддиапазона измерений.</p> <p>2 Погрешность измерений напряжения переменного тока в диапазонах частот входного сигнала свыше 1000 кГц нормируется только для поддиапазона измерения 1 В в одноканальном режиме работы преобразователей.</p> <p>3 X_{AC} – предел измерений напряжения переменного тока, $X_{AC} = \frac{X_K}{\sqrt{2}}$, где X_K – значение установленного поддиапазона измерений напряжения.</p> <p>4 X – значение измеряемого напряжения.</p>	

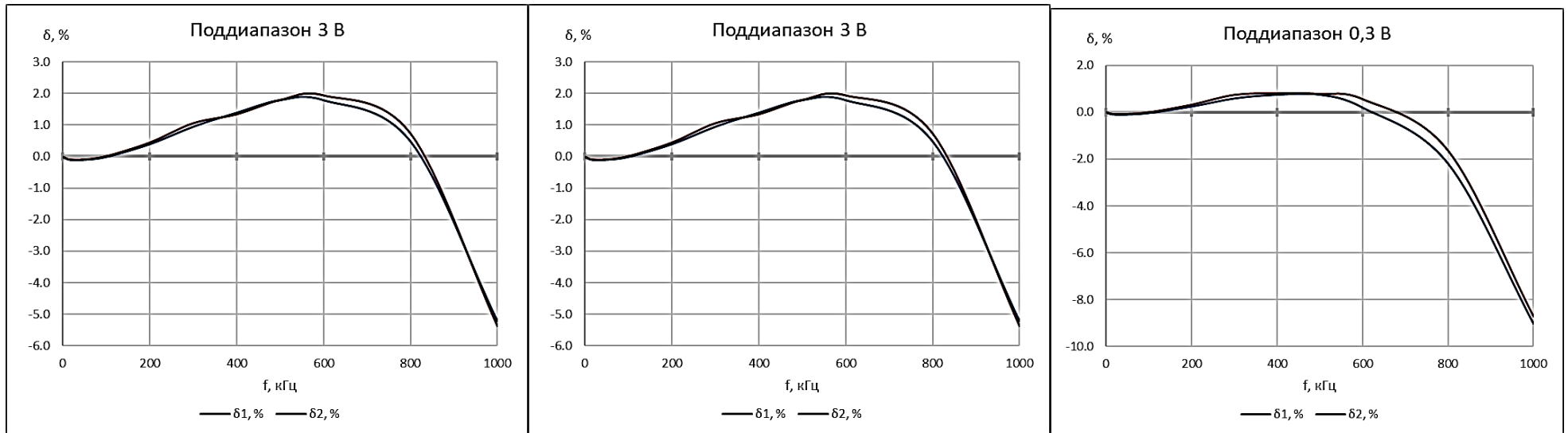
7.1.3. Типичные характеристики АЧХ в полосе пропускания

Ниже приводятся типичные характеристики АЧХ ревизии С модулей E20-10. Двойными линиями условно показаны типичные границы разброса АЧХ (δ – относительная погрешность в процентах).

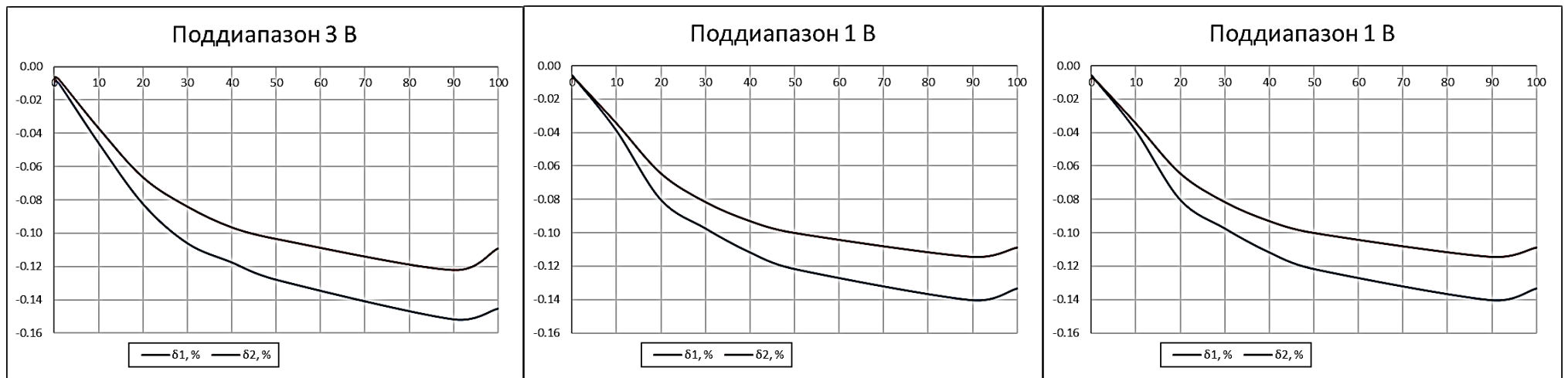
E20-10 (от 0,01 до 100 кГц)



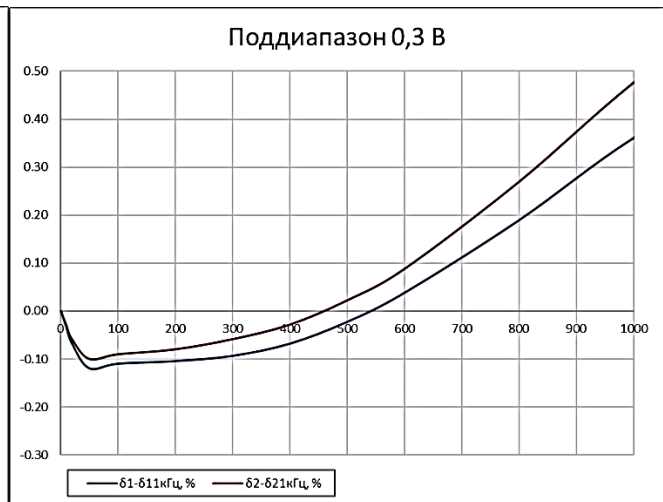
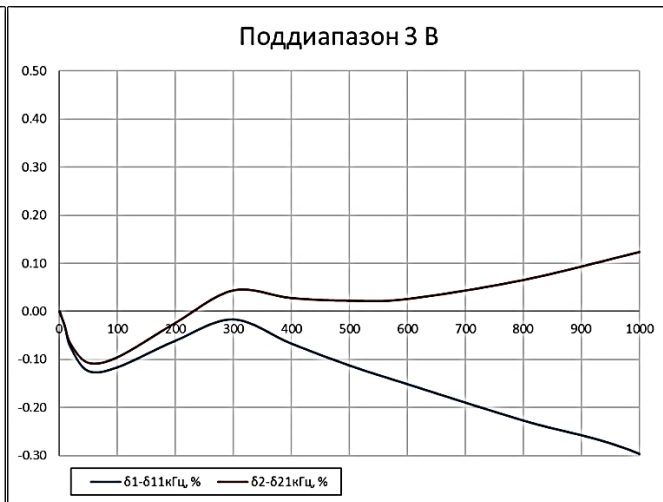
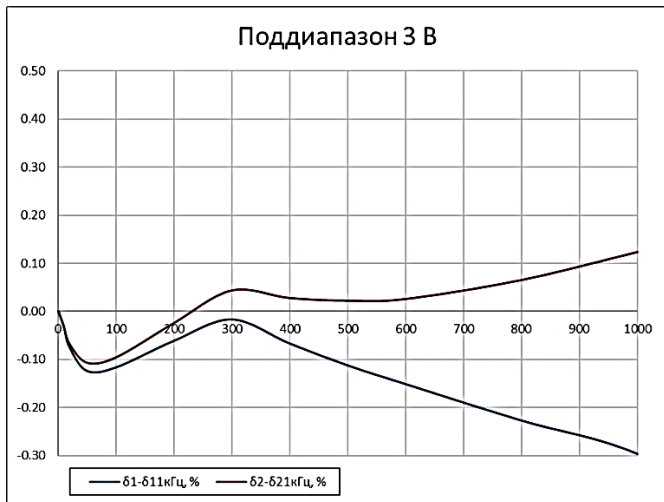
Е20-10 (от 1 до 1000 кГц)



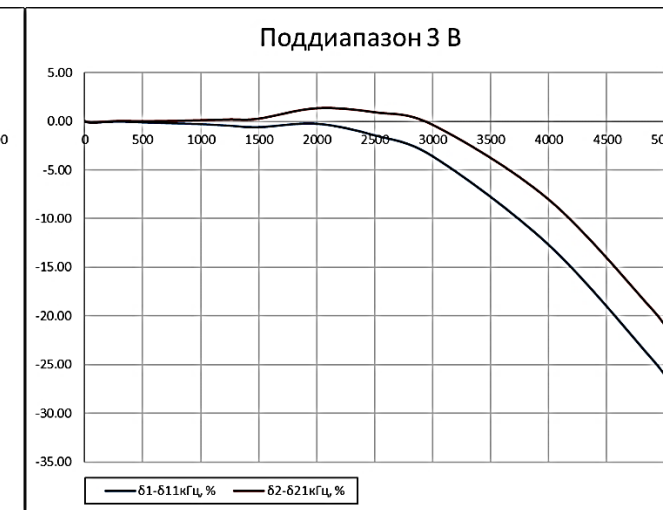
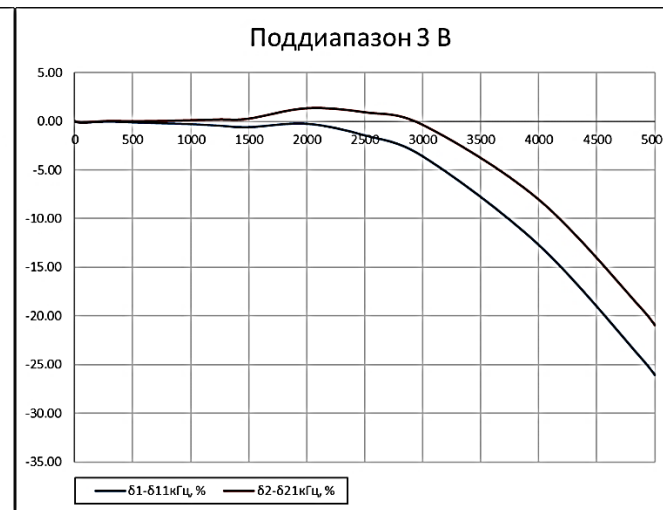
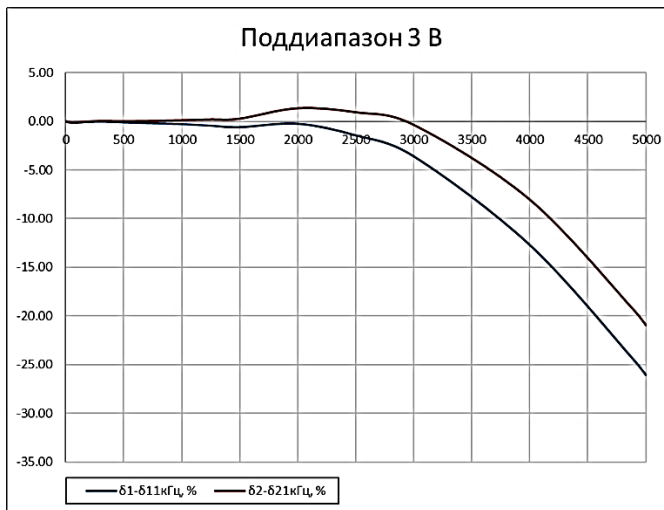
Е20-10-1 (от 0,01 до 100 кГц)



Е20-10-1 (от 1 до 1000 кГц)



Е20-10-1 (от 1 до 5000 кГц)



7.1.4. Система синхронизации АЦП

Параметр, характеристика	Значение
Параметры внешнего сигнала SYNC в режиме внешней синхронизации частоты преобразования АЦП	Входной TTL-сигнал с периодом 100 – 1000 нс, скважностью 1,90...2,10, с временем фронта/спада не более 5 нс
Параметры сигналов синхронизации АЦП: Время задержки распространения сигналов на выход: – сигнал START, не более – сигнал SYNC, не более	Один период частоты запуска АЦП 20 нс
Время задержки распространения сигналов со входа – сигнал START, не более – сигнал SYNC, не более	Один период частоты запуска АЦП 20 нс
Разброс времени задержки сигналов синхронизации у разных модулей E20-10 : – сигналов SYNC – сигналов START	±8 нс ±один период частоты запуска АЦП
Длительность внешнего сигнала START, не менее	50 нс

7.2. ЦАП

Параметр, характеристика	Значение
Количество каналов	2
Разрядность	12 бит
Время установления ²⁸	8 мкс
Диапазон воспроизведения напряжения постоянного тока	±5 В
Пределы допускаемой приведенной основной погрешности воспроизведений напряжения постоянного тока	±0,3 %
Выходной ток	2 мА
Пределы допускаемой дополнительной погрешности от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 °С	0,5 от пределов допускаемой основной погрешности
Устойчивость к короткому замыканию выхода	Имеется
Режим работы	Асинхронный

²⁸ Это время установления выходного сигнала применённой микросхемы ЦАП без учёта гораздо большего ожидаемого времени программной асинхронной задержки управления ЦАП (п. 5.2.7).

7.3. Цифровые линии

Параметр, характеристика	Значение
Количество цифровых линий – ввода общего назначения – вывода общего назначения – входов синхронизации старта сбора данных – входов синхронизации запуска АЦП	16 16 1 (альтернативная функция одной линии цифрового ввода)
Выходной ток: – Рабочий выходной ток цифровой линии – Суммарный выходной ток нагрузки, подключенной относительно цепи GND, выходов, находящихся в состоянии логической единицы	Не более 8 мА (предельный ток см. п. 6.4) Не более 40 мА
Выходные логические уровни	0...+0,4 В («логический ноль»); Не менее 2,4 В («логическая единица»); Соответствуют серии 74НСТ, TTL/CMOS 5 В
Входные логические уровни	–0,2...+0,6 В («логический ноль»); +2,4...+5,0 В («логическая единица»); Соответствуют серии 74НСТ

Внимание! Предельные характеристики цифровых линий см. п. 6.4.

7.4. Питание

В этом приложении приводятся характеристики входов-выходов питания **E20-10** (см, также п. **6.4.4**).

Параметр	Значение
Параметры входа внешнего источника питания E20-10. Рабочее напряжение: – для E20-10 ревизий А, В – для E20-10 ревизии В.01, С Потребляемая мощность (при подаче рабочего напряжения, без нагрузки выходных цепей E20-10): – для E20-10 ревизии А – для E20-10 ревизий В и В.01, С Гальваноизоляция от других цепей E20-10 Входной синфазный фильтр подавления помех Устойчивость в режиме ошибочного подключения отрицательной полярности напряжения питания ²⁹	 +9,0...+27 В (напряжение в момент включения должно находиться в диапазоне +9,5...+27 В, после включения работоспособность сохраняется в диапазоне +9,0...+27 В) +8,0...+40 В До 5 Вт До 4,5 Вт Отсутствует Имеется Обеспечивается
Параметры выхода +5 В питания внешних устройств: – Выходное напряжение – Выходной ток – Тип защита по току	 +5 В (+5% –10%) 35 мА (100 мА для E20-10 ревизии В.01, С) теплозащита стабилизатора напряжения ³⁰

²⁹ реальная ситуация: у сторонних поставщиков встречаются сетевые адаптеры с отрицательным полюсом питания на центральном контакте разъёма; при случайном подключении такого адаптера к **E20-10** модуль не выйдет из строя, но работать от такого адаптера он не будет

³⁰ при срабатывании теплозащиты работоспособность **E20-10** не обеспечивается

Параметр	Значение
Параметры выхода $\pm 12V$ питания внешних устройств E20-10: – выходное напряжение; – выходной ток; – тип защита по току	$\pm 12 В \pm 5\%$ 35 мА тепловая защита стабилизатора напряжения

7.5. Физические свойства

Параметр	Значение
Габаритные размеры корпуса (без выступающих частей разъемов)	142×132×40 мм
Масса	Не более 0,3 кг
Тип разъема <i>Digital I/O</i>	DB-37F
Тип разъема <i>USB</i>	DUSB-BRA42-T11
Тип разъема аналогового выхода	MDNR-9J
Тип разъемов аналоговых входов	BNC – приборное гнездо
Тип разъема питания	DJK-02A
Наработка на отказ	Не менее 40000 часов
Срок службы	10 лет

7.6. Условия эксплуатации

7.6.1. Нормальные условия

Параметр	Значение
Нормальные условия измерений: – температура окружающей среды, °С – относительная влажность, % – атмосферное давление, кПа	20±5 от 30 до 80 от 84 до 106

7.6.2. Рабочие условия применения

Параметр	Значение
По устойчивости при климатических воздействиях преобразователи, кроме исполнений с буквенным индексом I, соответствуют ГОСТ 22261, группа 3 с расширенным диапазоном рабочих температур: – температура окружающей среды, °С – относительная влажность при температуре окружающей среды 25 °С, % – атмосферное давление, кПа	от +5 до +55 до 90 от 70 до 106,7
По устойчивости при климатических воздействиях преобразователи исполнений с буквенным индексом I соответствуют ГОСТ 22261, группа 4 с расширенным диапазоном рабочих температур: – температура окружающей среды, °С – относительная влажность при температуре окружающей среды 30 °С, % – атмосферное давление, кПа	от -40 до +60 до 90 от 60 до 106,7

8. Решение вопросов в нестандартных ситуациях

В настоящем приложении предпринята попытка классифицировать возможные нестандартные ситуации, которые могут возникнуть в реальных условиях, а также даны рекомендации пользователю по их преодолению.

Внешнее проявление	Возможные причины	Меры по преодолению
<p>Во время работы операционная система компьютера фиксирует неожиданное пропадание связи по интерфейсу USB. Индикатор кратковременно или постоянно становится жёлтым или мигает</p>	<p>1) Пропал контакт с кабелем USB или кабель USB неисправен 2) В Вашей схеме подключения сквозные токи через общие провода подключенных к E20-10 устройств столь велики, что вызывают неустойчивую работу интерфейса USB</p>	<p>Восстановить контакт, заменить кабель. Сначала обнаружить контур протекания сквозного тока в Вашей схеме подключения. Для этого последовательно отключайте разъёмы источников сигналов и нагрузок (кроме входа питания и USB) и, если после очередного отключения интерфейс USB стал работать устойчиво, значит, Вы обнаружили внешнее устройство, создающее контур протекания большого сквозного тока через USB. Далее остаётся либо лучше заземлить общий провод обнаруженного устройства относительно корпуса компьютера, либо гальванически развязать это устройство тем или иным способом. Рекомендации см. в гл. 6</p>
<p>В спектре оцифрованного посредством E20-10 сигнала обнаруживаются составляющие, которых нет в Вашем сигнале</p>	<p>1) Недостаточное экранирование кабелей. 2) В Вашей схеме подключения присутствует контур тока по общим проводам, вызывающий эту помеху. Если при замыкании коаксиальных кабелей со стороны источников сигнала (без отсоединения оплётки от источника сигнала) помеха остаётся, а при полном отсоединении кабеля от источника помеха исчезает, то это подтверждает синфазный характер помехи</p>	<p>Использовать более качественное экранирование. Возможные меры: – Применить синфазный помехоподавляющий фильтр на выходе соответствующего источника сигнала. – Общие провода всех устройств сводить в одну точку заземления кратчайшим способом проводом наибольшего сечения. – Применить дополнительное устройство гальваноразвязки с наименьшей ёмкостью между гальваноразвязанными частями. Рекомендации см. в гл.6</p>
<p>При работе с E20-10 с использованием Вашего программного обеспечения возникли подозрения о неисправности аппаратуры E20-10</p>	<p>Возможна некорректная работа Вашей программы с E20-10 или действительно E20-10 неисправен</p>	<p>Проверить функции E20-10, попавшие под подозрения, с помощью программ, поставляемых ООО “Л Кард” (или непосредственно используя приводимые примеры программирования). При подтверждении неисправности обратиться в ООО “Л Кард”</p>

Внешнее проявление	Возможные причины	Меры по преодолению
При работе на поддиапазоне ± 3 В возникли значительные искажения преобразования сигнала, при этом работа модуля E20-10 восстанавливается либо после выключения и включения напряжения питания E20-10, либо после программного переключения поддиапазона измерения	В Вашей схеме измерения подаваемое на вход E20-10 напряжение значительно превысило диапазон измерения E20-10, приблизившись к границам ± 10 В предельно допустимого напряжения на входе E20-10 либо превысив эти границы	Принять меры по ограничению входного напряжения сигнала E20-10. Техподдержка ООО “Л Кард” консультирует по данному вопросу в случае предоставления подробных техданных о Вашей схеме измерения

8.1. Как получить консультацию?

Простой телефонный звонок в ООО “Л Кард” и объяснение "на пальцах" – это, как правило, просто потеря времени (своего и чужого), поскольку специалисту сразу потребуются исходные данные, описывающие Вашу ситуацию. А необходимых исходных данных **очень много** (Вы и сами их сразу не вспомните), поэтому их просто необходимо передать в ООО “Л Кард” в письменном виде (E-mail, конференция на сайте, факс, выслать по почте или принести лично в ООО “Л Кард”, адреса см. на обороте титульного листа этой книги). Необходимы следующие исходные данные, описывающие Вашу ситуацию:

- Как Вас зовут и как с Вами связаться.
- Серийный номер **E20-10** (см. на корпусе модуля или соответствующую программно доступную информацию).
- Какой компьютер (на основе какого чипсета) используете и под какой операционной системой.
- Каким ПО вы пользуетесь и каким драйвером устройства (указать версию или другие сведения, позволяющие Вас понять).
- Какие программные пользовательские настройки **E20-10** используются (частота преобразования АЦП, входной поддиапазон, количество опрашиваемых каналов, величина межкадровой задержки, режим синхронизации АЦП и старта сбора данных).
- Схема внешних подключений (текстовое описание связей или эскиз схемы), при этом обязательно указать номера контактов разъёма и ориентировочную длину проводов.
- Какие источники сигнала используются и какие выходные электрические параметры они имеют.
- Оценка уровней сигналов, приложенных к контактам изделия, какой характер сигнала используется (укажите специфические параметры сигнала, если они известны,

импульсный или синусоидальный, случайный или периодичный, ширина полосы частот).

- В каких условиях эксплуатируется изделие (лаборатория, производство).
- Описать, как выполнены цепи заземления компьютера, заземлены ли источники сигналов, если да, то каким образом.
- И, наконец, опишите наблюдаемый негативный эффект, снабдив это описание хотя бы какими-то количественными характеристиками или оценками!

Если Вы потрудитесь немного и предоставите эти полные исходные данные, это даст возможность специалисту в кратчайшие сроки дать Вам наиболее точный и правильный ответ, что, безусловно, в Ваших интересах!

9. Литература

1. [E20-10 Руководство программиста. - М.: L-Card , 2008](#)
2. [Гарманов А. В. Решение вопросов электросовместимости и помехозащиты при подключении измерительных приборов на примере продукции фирмы **L-Card**. - М.: **L-Card** , 2002](#)
3. [Модуль E20-10. Типичные примеры подключения.](#)
4. [Гарманов А. В. Практика оптимизации соотношения сигнал/помеха при подключении АЦП в реальных условиях: М.: L-Card, 2010.](#)
5. [Терминология – постоянно обновляемый раздел сайта L-Card.](#)
6. [FAQ \(ответы на типичные вопросы\) – постоянно обновляемый раздел сайта L-Card.](#)
7. National Semiconductor. A Practical Guide To Cable Selection. - Application Note 916
8. National Instruments. Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals. -Application Note 25
9. National Instruments. Signal Conditioning Fundamentals for PC-Based Data Acquisition Systems. - Application Note 48
10. Universal Serial Bus Specification. - Rev. 1.1, Sept. 1998
11. Universal Serial Bus Specification. - Rev. 2.0, April 2000

Список таблиц

Табл. 5-1. Режимы синхронизации по частоте преобразования АЦП (по сигналу SYNC)	34
Табл. 5-2. Режимы синхронизации старта сбора данных (по сигналу START).....	34
Табл. 5-3. Дополнительные условия разрешения записи данных в буферную память E20-10...	35
Табл. 5-4. Режимы синхронизации "по уровню"	35
Табл. 5-5. Условия останова сбора данных	36
Табл. 5-6. Типичные варианты настроек синхронного цифрового ввода	44
Табл. 5-7. Расширенные функции выходных линий DI16/START и SYNC.....	45
Табл. 6-1. Назначение аналоговых сигналов на разъемах	48
Табл. 6-2. Сигналы разъёма DIGITAL I/O	50
Табл. 6-3. Характеристики входов и выходов сигнальных линий, рабочий режим	51
Табл. 6-4. Характеристики входов и выходов сигнальных линий, выключенный режим.....	52
Табл. 6-5. Предельно допустимые сквозные токи	53
Табл. 6-6. Характеристики входа внешнего питания	53
Табл. 6-7. Характеристики выходов внешнего питания	54

Список иллюстраций

Рис. 3-1. Внешний вид E20-10 ревизии А.....	14
Рис. 3-2. Внешний вид E20-10 ревизий В и С	14
Рис. 5-1. Функциональная схема E20-10.....	26
Рис. 5-2. Функциональная схема логического взаимодействия аппаратуры E20-10	29
Рис. 5-3 Функциональная схема логического взаимодействия аппаратуры E20-10	38
Рис. 5-4. Функциональная схема синхронных цифровых каналов последовательного ввода	43
Рис. 6-1. Разъёмы аналоговых входов.....	47
Рис. 6-2. Разъём аналоговых выходов.....	47
Рис. 6-3. Разъёмы цифровых сигналов и внешнего питания	49
Рис. 6-4. Цепи GND, GND* и AGND	57
Рис. 6-5. Эквивалентные схемы входной цепи АЦП по постоянному току (отличия ревизий А от В-С).....	58

Оглавление

1.	О чем этот документ	5
1.1.	О ревизиях А, В, В.01 и С модуля E20-10	5
1.2.	Система обозначений.....	6
1.3.	Варианты исполнений	6
1.4.	Как читать это руководство?.....	7
2.	Основные потребительские свойства.....	8
2.1.	Полный перечень пользовательских отличий ревизий А, В, В.01 и С модуля E20-10	10
3.	Общее знакомство.....	13
3.1.	Назначение устройства.....	13
3.2.	Внешний вид.....	13
3.3.	Комплектация модуля.....	15
3.3.1.	Базовый комплект поставки.....	15
3.3.2.	Варианты исполнения.....	15
3.3.3.	Поставка ПО	16
3.3.3.1.	Штатное программное обеспечение.....	16
3.3.3.2.	Библиотека Lusbari.....	16
3.3.3.3.	Библиотека LComp.....	17
3.3.3.4.	Дополнительное программное обеспечение	17
3.3.4.	Версии прошивок FPGA.....	17
3.3.4.1.	Прошивки E20-10 рев.А	18
3.3.4.2.	Прошивки E20-10 рев.В	18
3.3.4.3.	Прошивки E20-10 рев.С	20
4.	Инсталляция и настройка	21
4.1.	Подключение модуля к компьютеру.....	21
4.2.	Установка USB драйверов.....	21
4.2.1.	Установка USB драйверов от Lusbari	21
4.2.2.	Установка USB драйверов от LComp.....	21
4.3.	Обнаружение модуля	22
4.4.	Различия в USB драйверах библиотеки Lusbari	23
5.	Обзор аппаратной части и принципы работы	26
5.1.	Функциональная схема.....	26
5.2.	Принцип работы E20-10	30
5.2.1.	Принцип опроса каналов	31
5.2.2.	Синхронизация в E20-10	32
5.2.2.1.	Режимы синхронизации	34
5.2.3.	Формат данных E20-10	39
5.2.3.1.	Кодирование признака перегрузки разрядной сетки E20-10 ревизии А	39
5.2.3.2.	Кодирование начала непрерывного участка данных в E20-10 ревизий В-С	39
5.2.3.3.	Формат данных синхронных цифровых последовательных входов.....	39
5.2.4.	Буфер FIFO и логика устранения его переполнения	40
5.2.5.	Корректировка показаний (калибровка)	41
5.2.6.	Сигнализация перегрузки разрядной сетки АЦП	41
5.2.7.	Опциональный ЦАП.....	42
5.2.8.	Синхронные цифровые последовательные каналы ввода данных E20-10 (подробно).....	42
5.2.8.1.	Расширенные функции линий DI16/START и SYNC, настроенных на выход	44
6.	Подключение сигналов.....	46

6.1.	Общие сведения	46
6.2.	Внешние разъемы.....	46
6.3.	Разъемы аналоговых сигналов.....	47
6.3.1.	Разъемы цифровых сигналов и внешнего питания.....	49
6.4.	Характеристики входов и выходов сигнальных линий.....	51
6.4.1.	Рабочий режим	51
6.4.2.	Выключенный режим	52
6.4.3.	Предельные сквозные токи	53
6.4.4.	Характеристика входа внешнего питания	53
6.4.5.	Характеристика выходов внешнего питания	54
6.5.	Специфика и примеры подключения	55
6.5.1.	Подключения к USB	55
6.5.2.	Многомодульные соединения.....	56
6.5.3.	Цепи GND, GND* и AGND.....	57
6.5.4.	Подключение входа АЦП.....	58
6.5.4.1.	Собственный входной ток аналогового входа АЦП.....	58
6.5.4.2.	Подключение к высокоомному выходу и выходу переменного тока.....	59
6.5.4.3.	О возможности подключения стандартного осциллографического щупа	59
6.5.4.4.	О влиянии сквозных токов на соотношение сигнал-шум	60
6.5.4.5.	Как обнаружить, что сквозные токи ухудшают сигнал-шум в Вашей схеме соединения?	60
6.5.4.6.	Как решить проблему, если сквозные токи обнаружены?	60
6.5.4.7.	О неподключенных входах АЦП.....	61
6.5.5.	Подключение цифровых линий и линий синхронизации	61
7.	Спецификации	62
7.1.	АЦП.....	62
7.1.1.	E20-10, E20-10-I, E20-10-D-I: пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения переменного тока	64
7.1.2.	E20-10-1, E20-10-1-I, E20-10-D-1-I: пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения переменного тока	64
7.1.3.	Типичные характеристики АЧХ в полосе пропускания	65
7.1.4.	Система синхронизации АЦП	68
7.2.	ЦАП	68
7.3.	Цифровые линии	69
7.4.	Питание	70
7.5.	Физические свойства	71
7.6.	Условия эксплуатации	72
7.6.1.	Нормальные условия	72
	– атмосферное давление, кПа	72
7.6.2.	Рабочие условия применения	72
	По устойчивости при климатических воздействиях преобразователи, кроме исполнений с буквенным индексом I, соответствуют ГОСТ 22261, группа 3 с расширенным диапазоном рабочих температур:	72
	По устойчивости при климатических воздействиях преобразователи исполнений с буквенным индексом I соответствуют ГОСТ 22261, группа 4 с расширенным диапазоном рабочих температур:	72
8.	Решение вопросов в нестандартных ситуациях.....	73
8.1.	Как получить консультацию?	74
9.	Литература	75
	Список таблиц	76
	Список иллюстраций	76

Оглавление.....77