

## Общее

Шина состоит из одного ведущего устройства (как правило, это шлюз USB — LBUS) и максимум 15 ведомых устройств. Устройства соединяются друг с другом через пары разъёмов, расположенных на них, четырёхжильным кабелем с штекерами тира RJ-11 в любом удобном порядке.

Каждое устройство имеет уникальный на шине, изменяемый адрес в диапазоне 1...15. Адрес 0 зарезервирован для идентификации шлюза USB — LBUS. Если у ведомого устройства установлен адрес 0, то оно должно игнорировать все проходящие по шине данные.

## Канальный уровень

Шина LBUS использует в своей основе последовательный асинхронный интерфейс UART с параметрами 38400 8n1: скорость 38400 бит/сек, 8 бит данных, 1 стоповый бит, без проверки чётности.

Обмен происходит в пакетном режиме. Инициатором обмена всегда является ведущее устройство; ведомое устройство может предавать данные только по прямому запросу ведущего устройства.

Критерием окончания пакета является отсутствие активности в линии связи в течение времени, не менее значения, соответствующего передаче  $3^x$  байтов, т. е. 0,78 мс. Внутри пакета допускаются паузы длиной не более  $1^{\text{ого}}$  байта, т. е. 0,13 мс.

## Представление данных

С точки зрения шины LBUS, структура данных ведомого устройства представляется в виде набора переменных, организованных как некое адресное пространство, адресуемое побайтово. Однако, адресация переменных при обращении к ним по шине LBUS и адресация соответствующих им переменных, хранящихся в оперативной памяти ведомого устройства, в общем случае никак друг с другом не связаны.

При использовании числовых полей длиной более одного байта используется порядок следования байтов little-endian: младший байт имеет меньший адрес.

## Структура пакета LBUS

Общая длина пакета может составлять от 5 до 255 байт: пакет содержит заголовок длиной 4 байта, блок данных длиной от 0 (т. е. в некоторых типах пакетов может отсутствовать) до 250 байт и контрольную сумму (CRC8) длиной 1 байт. Структура пакета LBUS представлена в табл. 1. Поля расположены слева на право в порядке их следования при передаче по линии связи (первым передаётся самое левое поле).

Табл. 1. Структура пакета LBUS

Заголовок			DATA	CRC8
CONTROL	OFFSET	LENGTH		
1 байт	2 байта	1 байт	0...250 байт	1 байт

Поле CONTROL длиной 1 байт является битовым полем, расположение элементов которого описано в табл. 2.

Табл. 2. Назначение битов поля CONTROL

7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR3	ADDR2	ADDR1	ADDR0	WRITE	ERROR	PAGE1	PAGE0

ADDR[3...0] — адрес ведомого устройства, к которому происходит обращение или адрес ведомого устройства, отвечающего на запрос. Допустимые значения: 0 — шлюз, 1...15 — ведомые устройства.

WRITE — бит, указывающий, что при данной транзакции в ведомое устройство будет производиться запись.

ERROR — бит, с помощью которого ведомое устройство сообщает об ошибке, обнаруженной при обработке данной транзакции.

PAGE[1...0] — страница памяти, к которой происходит обращение: по сути, расширение поля OFFSET. В одной транзакции можно производить обмен только с одной страницей памяти. Допустимые значения: 0...3.

OFFSET — смещение в байтах запрашиваемых или записываемых переменных в адресном пространстве ведомого устройства. Допустимые значения 0x0000...0xFFFF.

LENGTH — длина запрашиваемых или записываемых данных, т. е. длина блока данных в байтах. Допустимые значения 1...250.

DATA — блок данных длиной 0...250 байт.

CRC8 — контрольная сумма CRC8 всех байтов послыки с полиномом 0x07.

Поля OFFSET и LENGTH могут принимать только такие значения, которые во-первых, обеспечивают обращение только к размеченной (используемой) области адресного пространства и во-вторых, обеспечивают обращение к переменным только целиком, т. е. значения OFFSET и (OFFSET + LENGTH) должны точно соответствовать границам адресов переменных. Иначе ведомое устройство должно возвращать ошибку.

## Чтение из устройства

Формат запроса на чтение и ответ на этот запрос приведены в табл. 3.

Табл. 3. Формат запроса на чтение и ответ ведомого устройства.

Запрос:

CONTROL								OFFSET	LENGTH	CRC8
1 байт								2 байта	1 байт	1 байт
ADDR3	ADDR2	ADDR1	ADDR0	WRITE	ERROR	PAGE1	PAGE0	offset	length	crc8_rq
addr				0	0	page				

Ответ:

CONTROL								OFFSET	LENGTH	DATA	CRC8
1 байт								2 байта	1 байт	length байт	1 байт
ADDR3	ADDR2	ADDR1	ADDR0	WRITE	ERROR	PAGE1	PAGE0	offset	length	data	crc8_ans
addr				0	0	page					

При запросе на чтение:

addr — адрес устройства, к которому происходит обращение;

биты WRITE и ERROR сбрасываются в 0;

page — страница, к которой происходит обращение (0...2 — данные, уникальные для данной модели устройства; 3 — унифицированный блок данных);

offset — начальный адрес запрашиваемых данных в байтах;

length — длина запрашиваемых данных в байтах;

поле данных DATA отсутствует;

crc8\_rq — контрольная сумма запроса.

Общая длина запроса 5 байт.

В случае отсутствия ошибок, ведомое устройство без изменений копирует заголовок из запроса в ответ, в блоке данных DATA передаёт запрашиваемые length байт данных и подсчитывает контрольную сумму crc8\_ans.

Общая длина ответа (length + 5) байт.

### Запись в устройство

Формат запроса на запись в устройство и ответ на этот запрос приведены в табл. 4.

Табл. 4. Формат запроса на запись и ответ ведомого устройства.

Запрос:

CONTROL								OFFSET	LENGTH	DATA	CRC8
1 байт								2 байта	1 байт	length байт	1 байт
ADDR3	ADDR2	ADDR1	ADDR0	WRITE	ERROR	PAGE1	PAGE0	offset	length	data	crc8_rq
addr				1	0	page					

Ответ:

CONTROL								OFFSET	LENGTH	CRC8
1 байт								2 байта	1 байт	1 байт
ADDR3	ADDR2	ADDR1	ADDR0	WRITE	ERROR	PAGE1	PAGE0	offset	length	crc8_ans
addr				1	0	page				

При запросе на чтение:

addr — адрес устройства, к которому происходит обращение;

бит WRITE устанавливается в 1;

бит ERROR сбрасывается в 0;

page — страница, к которой происходит обращение;

offset — начальный адрес, начиная с которого будут записываться данные;

length — длина записываемых данных в байтах;

поле данных DATA содержит length байт записываемых данных;

crc8\_rq — контрольная сумма запроса.

Общая длина запроса (length + 5) байт.

В случае отсутствия ошибок ведомое устройство без изменений копирует заголовок из запроса в ответ, не заполняет поле данных DATA и вычисляет контрольную сумму crc8\_ans. Общая длина ответа 5 байт.

### Сообщения об ошибках

Формат пакета, возвращаемого ведомым устройством при обнаружении ошибки приведён в табл. 5.

Табл. 5. Сообщение об ошибке, возвращаемое ведомым устройством.

CONTROL								OFFSET	LENGTH	DATA	CRC8
1 байт								2 байта	1 байт	1 байт	1 байт
ADDR3	ADDR2	ADDR1	ADDR0	WRITE	ERROR	PAGE1	PAGE0	offset	length	err_code	crc8_err
addr				wr	1	page					

Заголовок возвращаемого пакета копируется из запроса, кроме бита WRITE, который устанавливается в 1, в поле данных DATA возвращается 1 байт err\_code — код ошибки и вычисляется контрольная сумма crc8\_err.

Общая длина пакета 6 байт.

Возвращаемые коды ошибок:

- 1 (BADFORMAT) — неверный формат пакета — неверная длина или установлен бит ERROR.
- 2 (NOTEXIST) — попытка обращения к не размеченной (неиспользуемой) области адресного пространства.
- 3 (NOTALIGNED) — неверное выравнивание — значения OFFSET или (OFFSET + LENGTH) не попадают на адреса границ переменных.
- 4 (READONLY) — попытка записи в переменную, предназначенную только для чтения.

## Унифицированный блок данных

Унифицированный блок данных, расположен на странице PAGE = 3. Доступные для чтения / изменения переменные приведены в табл. 6. Доступ: RW — для чтения и записи, RO — только для чтения. Диапазон — диапазон значений, доступных для записи.

Табл. 6. Унифицированный блок данных.

Смещение	Тип	Доступ	Описание	Диапазон
0x00	unsigned long	RO	Версия протокола LBUS	1
0x04	unsigned long	RO	Идентификатор разработчика	$1 \dots 2^{32} - 1$
0x08	unsigned long	RO	Идентификатор разработки	$1 \dots 2^{32} - 1$
0x0C	unsigned long	RO(W)	Серийный номер	$1 \dots 2^{32} - 1$
0x10	unsigned short	RO	Версия встроенного ПО в BCD	0...0x9999
0x12	unsigned short	RO	Младшая совместимая версия протокола в BCD	0...0x9999
0x14	unsigned short	RO	Старшая совместимая версия протокола в BCD	0...0x9999
0x16...0x7F - резерв				
0x80	unsigned char	RW	Яркость индикации	0...255
0x82...0xFF - резерв				
0x100	char[128]	RO	Строка текстового названия устройства, NULL-terminated	
0x180...0x1FF - резерв				
0x200	char[128]	RW	Строка текстового описания устройства, NULL-terminated	

## Коррелятор

Далее подразумевается, что PAGE = 0. Доступные для чтения / изменения переменные счётчика приведены в табл. 7. Доступ: RW — для чтения и записи, RO — только для чтения. Диапазон — диапазон значений, доступных для записи.

Табл. 7. Переменные коррелятора.

Смещение	Тип	Доступ	Описание	Диапазон
0x00	ulong	RW	Максимальное время экспозиции $\times 1$ мс.	$1 \dots 3.6 \times 10^9$
0x04	ushort	RW	Пороговое напряжение входного канала №1 $\times 10$ мВ.	0...500
0x06	uchar	RW	Полярность фронта входного канала №1: 0 — отсчёт по возрастающему фронту; 1 — отсчёт по спадающему фронту.	0, 1
0x07...0x0F — аналогично смещениям 0x04...0x06 для каналов №2...4.				
0x10	uchar	RW	Разрешение каналов подсчёта одиночных отсчётов: биты 0...3 — разрешение каналов №1...4; биты 4...7 — резерв.	0...15
0x11	ulong	RW	Максимальное значение одиночных отсчётов отдельно по каждому каналу.	$1 \dots 2^{24} - 1$

0x15	uchar	RW	Выбор каналов суммирования одиночных отсчётов: биты 0...3 — выбор каналов №1...4; биты 4...7 — резерв.	0...15
0x16	ulong	RW	Максимальное значение суммы одиночных отсчётов по выбранным каналам.	$1...2^{24}-1$
0x1A	uchar	RW	Мультиплексирование каналов событий «старт» и «стоп» модуля старт-стоп №1: биты 0, 1 — выбор номера входного канала, соответствующего событию «стоп», значения 0...3 соответствуют входным каналам №1...4; биты 2, 3 — резерв; биты 4, 5 — выбор номера входного канала, соответствующего событию «старт», значения 0...3 соответствуют входным каналам №1...4, игнорируется при автокоррелировании; бит 6 — резерв; бит 7 — и событие старт, и событие стоп берутся с одного входного канала, выбираемого битами 0 и 1 (автокоррелирование).	$(0...3) \mid (0...3) \ll 4 \mid (0, 1) \ll 7$
0x1B	uchar	RW	Задержка события «стоп» модуля старт-стоп №1 $\times$ 16 нс, игнорируется при автокоррелировании.	0...63
0x1C	ushort	RW	Длительность «окна» модуля старт-стоп №1 $\times$ 4 нс.	1 ... 15000
0x1E	ushort	RW	Начало «окна» модуля старт-стоп №1 $\times$ 2 нс.	$0^1...60000^2$
0x20	uchar	RW	Выбор каналов условного коррелирования модуля старт-стоп №1: биты 0...3 — использование выхода модуля старт-стоп №1...4 при условном коррелировании модуля старт-стоп №1; биты 4...7 — резерв.	0...15 <sup>3</sup>
0x21	uchar	RW	Размер элемента гистограммы модуля старт-стоп №1: 0 — 4 нс; 1 — 8 нс; 2 — 16 нс; 3 — 32 нс; 4 — 64 нс; 5 — 128 нс.	0...5
0x22	ushort	RW	Начало гистограммы модуля старт-стоп №1 $\times$ 2 нс.	$0^4...60000^5$
0x24...0x41 — аналогично смещениям 0x1A...0x23 для модулей старт-стоп №2...4.				
0x42	uchar	RW	Разрешение счёта совпадений по модулям: биты 0...3 — разрешение модулей №1...4; биты 4...8 — резерв.	0...15
0x43	ulong	RW	Максимальное значение совпадений отдельно для каждого модуля старт-стоп.	$1...2^{24}-1$
0x47	uchar	RW	Выбор модулей суммирования совпадений: биты 0...3 — выбор модулей №1...4; биты 4...8 — резерв.	0...15
0x48	ulong	RW	Максимальное значение суммы совпадений по выбранным модулям старт-стоп.	$1...2^{24}-1$
0x4C	uchar	RW	Мультиплексирование входных каналов на выход: биты 0...3 — подключение входов №1...4 на выход; биты 4...7 — резерв.	0...15

1 Для режима автокоррелирования минимальное значение начала окна 16 нс.

2 Суммарное значение начала и длительности «ворот» не должно превосходить 120 мкс.

3 Необходимо, чтобы бит, соответствующий данному модулю был установлен, т. е. для модуля старт-стоп №1 — 0bxxx1; №2 — 0bxx1x; №3 — 0bx1xx; №4 — 0b1xxx;

4 Для режима автокоррелирования минимальные значение начала гистограммы 16 нс.

5 Суммарное значение начала и (размер дискрета  $\times$  256) гистограммы не должно превосходить 120 мкс.

0x4D	uchar	RW	Инверсия входов и выхода: биты 0...3 — инверсия входов №1...4; бит 4 — инверсия выхода; биты 5...7 — резерв.	0...31
0x4E...0xFF — резерв.				
0x100	ushort	RW	Запись (команда): 0 — прервать измерение вручную; 1 — запустить измерение. Чтение (статус): бит 0 — идёт процесс измерения; бит 1 — измерение прервано; бит 2 — измерение завершено по таймеру; биты 3...6 — измерение завершено по счётчику одиночных отсчётов канала №1...4; бит 7 — измерение завершено по счётчику суммы одиночных отсчётов по выбранным каналам; биты 8...11 — измерение завершено по счётчику совпадений модуля №1...4; бит 12 — измерение завершено по счётчику суммы совпадений по выбранным модулям; бит 13 — резерв; бит 14 — коррелятор не инициализирован; бит 15 — внутренняя неисправность коррелятора.	0, 1
0x102	ushort	RO	Индекс измерения: при включении 0, далее инкрементируется циклически после завершения каждого измерения в диапазоне 1...65535.	
0x104	ulong	RO	Значение таймера на момент окончания измерения × 1 мс	
0x108	ulong[4]	RO	Количества одиночных отсчётов каналов №1...4.	
0x118	ulong	RO	Суммарное количество одиночных отсчётов по выбранным каналам.	
0x11C	ulong[4]	RO	Количество совпадений модулей старт-стоп №1...4.	
0x12C	ulong	RO	Суммарное количество совпадений по выбранным модулям.	
0x12B...0x1FF — резерв.				
0x200	ushort[256]	RO	Гистограмма модуля старт-стоп №1	
0x400	ushort[256]	RO	Гистограмма модуля старт-стоп №2	
0x600	ushort[256]	RO	Гистограмма модуля старт-стоп №3	
0x800	ushort[256]	RO	Гистограмма модуля старт-стоп №4	