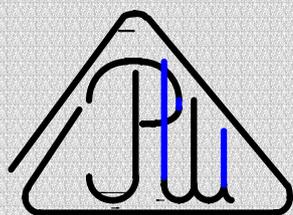


ЛА-н10М6РС1

*Быстродействующая
плата аналого-цифрового
преобразования для IBM
PC/AT-совместимых
компьютеров*

Центр
АЦП
ЗАО
«Руднев-
Шиляев»



Руководство пользователя

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	4
ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ.....	5
СОСТАВ ИЗДЕЛИЯ.....	9
МАРКИРОВКА	9
ОПИСАНИЕ ПЛАТЫ ЛА-н10М6РСІ.....	10
КОНФИГУРАЦИЯ И УСТАНОВКА.....	13
Техника безопасности.....	13
Размещение разъемов на плате	14
Установка платы.....	15
Указания по подключению сигналов	16
УПРАВЛЕНИЕ ПЛАТОЙ.....	17
ПРОГРАММИРОВАНИЕ	19
Карта регистров.....	19
Регистр синхронизации (Запись BASE+0)	20
Управляющий регистр (Запись BASE+1).....	21
Регистр аналогового канала (Запись BASE+2)	22
Управляющий регистр передачи данных (Чтение/Запись BASE+4).....	23
Статусный регистр (Чтение BASE+5).....	23
Регистр синтезатора (опция) (Запись BASE+6)	24
Служебные регистры СБИС (Чтение BASE+3, Запись BASE+7, Запись BASE+8) ..26	
Сброс прерывания (Запись BASE+A)	26
Регистр делителя частоты синтезатора (опция) (Запись BASE+B).....	26
Регистр данных аналого-цифрового преобразования (Чтение BASE1+C)	27
Управляющий регистр 1 (Запись BASE+C)	28
Управляющий регистр 2 (Запись BASE+D)	29
Регистр 8-ми разрядного ЦАП (Запись BASE+E).....	30
Регистр запуска АЦП (Запись BASE+F).....	32
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	33
Метрологические параметры платы.....	33
Регламентирующие документы.....	33
Особенности реальных измерений.....	33
Статические параметры АЦП.....	35
Динамические параметры АЦК	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	39
Результаты калибровки платы ЛА-н10М6РСІ.....	39
Динамические параметры платы ЛА-н10М6РСІ.....	39
Статистика результатов данных, собранных с ЛА-н10М6РСІ при заземленном входе	43
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	47
Стробоскоп (устанавливается опционально).....	47
ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее «Руководство пользователя» (РП) предназначено для лиц работающих с быстродействующей платой аналого-цифрового преобразования для IBM PC/AT-совместимых компьютеров (далее «прибор») и обслуживающего персонала.

РП включает в себя все технические сведения о приборе, принципе действия прибора и назначение его составных частей. Подробно описывается конфигурация и установка, программирование прибора. В приложениях РП сообщаются дополнительные сведения о работе прибора и его составных частей.

В связи с постоянной работой по совершенствованию изделия, повышающей его надежность и улучшающие его эксплуатационные характеристики, в конструкцию прибора могут быть внесены незначительные изменения, не отраженные в настоящем издании РП.

НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Прибор предназначен для работы в составе ПК типа IBM PC/AT. Основное назначение прибора – преобразование непрерывных (аналоговых) входных сигналов в цифровую форму, которая удобна для дальнейшей обработки сигнала при помощи ПК.

Прибор работает как составная часть персонального компьютера и в зависимости от программного обеспечения выполняет различные функции, связанные с обработкой результатов аналого-цифрового преобразования. Возможно применение прибора и в других областях.

При комбинировании прибора с другим оборудованием, выпускаемым ЗАО «Руднев-Шиляев», Ваш ПК превращается в мощную информационно-измерительную систему, способную решить большинство Ваших прикладных задач.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

◆ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ КАНАЛ

Число аналоговых входов	2 синхронных (два канала АЦП)
Конфигурация аналоговых входов (не изолированы ¹)	Однополюсные
Входной разъем	BNC
Входное сопротивление (импеданс)	1МОм, 30пФ
Дифференцирование (устанавливается программно)	Переменная или переменная и постоянная составляющие
Полоса пропускания (-3 дБ)	50МГц
Диапазоны входного напряжения (устанавливаются программно)	±5В; ±2,5В; ±1В; ±0,5В
Максимальное входное напряжение	±5В
Защита по напряжению аналоговых входов (при включенном питании)	±15В
Объем буфера памяти	256 Кбайт (128 Кбайт на канал)
Обмен данными между прибором и ПК	Программный ввод/вывод или по прерыванию IRQ

◆ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Тип АЦП	Параллельный
Разрешение	8 бит
Время преобразования	20нс
Максимальная частота дискретизации	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 100МГц в одноканальном режиме (канал 0). ▪ 50МГц в двухканальном режиме.
Эквивалентная частота дискретизации в режиме стробоскопа (устанавливается опционально)	<ul style="list-style-type: none"> • Свыше 1ГГц
Запуск АЦП	От внутреннего кварцевого генератора или синтезатора частоты (опция), от внешней тактовой частоты

¹ Не изолированы от корпусной земли и между собой

◆ **ВНЕШНЯЯ ТАКТОВАЯ ЧАСТОТА**

Внешняя тактовая частота	ТТЛ-совместимый сигнал. Частота сигнала не более 40 МГц. Длительность импульса не менее 10 нс.
Разъем для сигнала внешней тактовой частоты	BNC
Защита по напряжению входа внешней тактовой частоты (при включенном питании)	+7,5В -2,5В

◆ **СИНХРОНИЗАЦИЯ**

Источник	Канал 0, канал 1. Внешний
Внешний сигнал	Аналоговый амплитудой до $\pm 5В$ или ТТЛ-совместимый сигнал
Тип	По фронту или по спаду.
Число уровней	256
Дифференцирование (устанавливается программно)	Переменная или постоянная и переменная составляющие
Разъем входа внешнего сигнала синхронизации	BNC
Защита по напряжению входа внешнего сигнала синхронизации (при включенном питании)	$\pm 15В$
Входное сопротивление (импеданс)	1МОм, 30пФ

◆ **ОБЩИЕ**

Шина интерфейса ПК	PCI
Потребляемая мощность	+5В; 2,1 А
Габариты	110×250мм
Масса	217г

◆ **СТАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО КАНАЛА**

	Типовое значение	Максимальное значение
Дифференциальная нелинейность	$\pm 0,1МЗР$	$\pm 0,3МЗР$

Технические данные

Интегральная нелинейность	±0,2МЗР	±0,4МЗР
Ошибка сдвига	±0,3МЗР	±1,0МЗР
Собственный шум платы (СКО)	±0,1МЗР	±0,2МЗР

♦ **ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО КАНАЛА**

Приведены для входного гармонического калибровочного сигнала частотой 1МГц, амплитудой ±4,95В, при частоте запуска АЦП – 50МГц.

Параметр	Типовое значение	Максимальное значение
Отношение сигнал/шум	47дБ	48дБ
Коэффициент гармонических искажений	-51дБ	-52дБ
Реальный динамический диапазон	55дБ	57дБ
Число эффективных разрядов	7,4	7,5
Проникание из канала в канал	-63дБ	-65дБ

Таблица 1. Типовые динамические параметры ЛА-н10М6РС1 при разной частоте входного сигнала для частот дискретизации 12,5МГц, 50МГц, 100МГц

Диапазон входного напряжения	±5В				±2,5В				±1В				±0,5В			
	100				100				100				100			
F _{АЦП} (МГц)	100				100				100				100			
F _{ВХ} (МГц)	0,2	2	6	10	0,2	2	6	10	0,2	2	6	10	0,2	2	6	10
С/Ш (дБ)	46	45	43	40	46	46	44	41	45	45	44	41	46	45	43	40
КГИ (дБ)	58	56	53	46	60	57	53	46	60	57	53	47	60	57	53	47
ЧЭР	7,2	7,1	6,7	6,4	7,3	7,2	7	6,5	7,1	7,1	7	6,7	7,1	7,1	6,8	6,4
F _{АЦП} (МГц)	50				50				50				50			
F _{ВХ} (МГц)	0,2	2	6	10	0,2	2	6	10	0,2	2	6	10	0,2	2	6	10
С/Ш (дБ)	48	47	45	42	48	48	47	44	48	48	47	44	48	48	47	43
КГИ (дБ)	57	56	53	47	60	58	55	50	60	57	55	50	60	58	55	50
ЧЭР	7,8	7,5	7,3	6,6	7,7	7,7	7,5	6,8	7,7	7,7	7,5	7,1	7,5	7,5	7,4	6,8
F _{АЦП} (МГц)	12,5				12,5				12,5				12,5			
F _{ВХ} (МГц)	0,2	2	6	10	0,2	2	6	10	0,2	2	6	10	0,2	2	6	10
С/Ш (дБ)	48	47	45	42	48	48	47	44	48	48	47	44	48	48	47	44
КГИ (дБ)	57	56	53	50	60	58	55	51	58	58	56	52	60	58	56	51
ЧЭР	7,8	7,6	7,4	6,7	7,7	7,7	7,5	6,9	7,7	7,7	7,5	7,1	7,6	7,5	7,4	7

◆ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

По классификации условий эксплуатации РЭА данный прибор относится к первой группе (Таблица 2).

Таблица 2. Параметры РЭА и определяющие их дестабилизирующие факторы

Параметры	Значения параметров
1. Прочность при синусоидальных вибрациях ν , Гц α , м/с ² $t_{\text{выд}}$, час	20 19,6 >0,45
2. Обнаружение резонансов в конструкции ν , Гц ξ , мм $t_{\text{выд}}$, мин	10...30 0,5...0,8 >0,4
3. Воздействие повышенной влажности Вл., % ν^1 , К $t_{\text{выд}}$, ч	80 298 48
4. Воздействие пониженной температуры $\nu^1_{\text{прд}}$, К $\nu^1_{\text{рб}}$, К $t_{\text{выд}}$, ч	233 278 2...6
5. Воздействие повышенной температуры $\nu_{\text{прд}}$, К $\nu_{\text{рб}}$, К $t_{\text{выд}}$, ч	328 313 2...6
6. Воздействие пониженного атмосферного давления ν , К ρ , кПа $t_{\text{выд}}$, ч	263 61 2...6
7. Прочность при транспортировании $t_{\text{и}}$, мс ν , мин ⁻¹ $\alpha_{\text{макс}}$, м/с ²	5...10 40...80 49...245
8. Воздействие соляного (морского) тумана с дисперсностью (95% капель) А и водностью Б ν , К А, мкм Б, г/м ³ $t_{\text{выд}}$, ч	300 1...10 2...3 24

СОСТАВ ИЗДЕЛИЯ

Прибор поставляется в составе, указанном в таблице (Таблица 3).

Таблица 3. Состав изделия

НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО	ПРИМЕЧАНИЕ
Плата АЦП ЛА-н10М6РСІ	1	
Ответные части внешних разъемов типа BNC	2	
Руководство пользователя	1	
Комплект программного обеспечения	1	
Упаковочная тара	1	

➤ Примечания:

МАРКИРОВКА

Прибор содержит название предприятия-изготовителя, название типа платы, которые наносятся как элементы электрической разводки платы или в виде наклейки. Серийный номер платы наносится на плату краской или обозначается на наклейке. Дата выпуска платы указывается на наклейке.

➤ Примечания:

ОПИСАНИЕ ПЛАТЫ ЛА-н10М6РСІ

Плата ЛА-н10М6РСІ содержит следующие функциональные узлы: аналого-цифровой канал (АЦК); контроллер АЦП; схему синхронизации; внутреннее оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и интерфейс ввода/вывода РСІ (Рисунок 1).

Аналого-цифровой канал

Основное назначение АЦК – преобразование исследуемого аналогового сигнала в цифровую форму, для его дальнейшей обработки на ПЭВМ.

Аналоговый сигнал подается на входы каналов 0 и/или 1 (разъемы ХР4 и ХР3). Далее сигнал поступает на двухкаскадный программируемый аттенюатор. Программируемый аттенюатор состоит из схем деления, усиления и аппаратного смещения входного сигнала для обоих каналов 0 и 1, которые позволяют привести в соответствие входные диапазоны платы к рабочему диапазону АЦП. Напряжение смещения задается дискретно и имеет 256 уровней, что позволяет плавно изменять характеристику преобразования АЦП.

После прохождения программируемого аттенюатора сигнал поступает на вход АЦП. АЦП преобразует аналоговый сигнал в цифровую форму (цифровые данные). Цифровые данные с выхода АЦП поступают в ОЗУ платы, откуда могут быть считаны в компьютер.

Аналоговые входы платы имеют защиту от перегрузок по напряжению $\pm 15\text{В}$ и отключаемый режим дифференцирования входного сигнала. При включенном дифференцировании пропускается только переменная составляющая входного сигнала, при отключенном дифференцировании пропускаются переменная и постоянная составляющие входного сигнала.

Контроллер АЦП

Основное назначение многофункционального контроллера АЦП – согласование работы АЦП с внутренним ОЗУ.

Контроллер АЦП позволяет задать объем предыстории ОЗУ и общий объем используемой памяти ОЗУ, а также выбрать частоту дискретизации АЦП. Источник тактовой частоты АЦП может быть внешний или внутренний. Внешним источником тактовой частоты АЦП является ТТЛ-совместимый сигнал, подаваемый на разъем ХР2, внутренним источником служит кварцевый генератор или синтезатор частоты (опция).

При работе с кварцевым генератором тактовый сигнал поступает на схему задания частоты дискретизации, которая позволяет программно выбрать частоту дискретизации АЦП из набора сетки частот от 3,052кГц до 50МГц с коэффициентом деления кратным 2. Кроме того, предусмотрена возможность работы платы ЛА-н10М6РСІ в одноканальном режиме (канал 0) с удвоенной частотой дискретизации. Для этого предназначена схема выбора режима «50МГц или 100МГц» на входе АЦП. Если выбран режим «100МГц», то оба канала АЦП работают попеременно, с частотой по 50МГц каждый. В итоге суммарная частота дискретизации удваивается до 100МГц.

При работе с внутренним кварцевым генератором достигаются наилучшие динамические характеристики, что особенно необходимо при использовании платы в качестве спектроанализатора.

При работе со встроенным синтезатором частоты (опция) частота дискретизации плавно изменяется, и это свойство синтезатора частоты может использоваться для

работы платы в режиме стробоскопа или решения каких-либо других задач, где требуется плавное изменение частоты дискретизации.

Внешняя тактовая частота может использоваться для согласования момента запуска АЦП с какими-либо внешними устройствами, для обеспечения синхронной работы нескольких плат АЦП или для других целей.

Схема синхронизации

Аналоговый компаратор позволяет запустить сбор данных по достижению заранее заданного уровня синхронизации на одном из входных каналов или на входе внешней синхронизации. Выбор источника синхронизации, а также уровень синхронизации и полярность срабатывания (по фронту или по спаду) осуществляется программно.

Оперативное запоминающее устройство

Максимальный объем ОЗУ расположенного на плате – 256 кСлов. ОЗУ состоит из двух частей – циклического буфера «предыстории» и буфера «истории». Общий объем ОЗУ и объем буфера «предыстории» задается пользователем.

Схема работы ОЗУ следующая. После прихода команды запуска АЦП данные АЦП циклически (непрерывно) записываются в буфер предыстории и, если синхронизация выключена, далее сразу продолжается запись данных в буфер истории. После заполнения буфера истории данные могут быть считаны в компьютер.

При включенной синхронизации, пока выбранный объем предыстории не заполнен, синхроимпульсы блокируются и не обрабатываются контроллером АЦП. После заполнения объема предыстории до прихода первого синхроимпульса данные АЦП продолжают циклически (непрерывно) записываться в буфер предыстории. После прихода синхроимпульса записывается оставшаяся часть ОЗУ. Теперь данные могут быть считаны в компьютер. Здесь следует отметить следующее - если условия синхронизации не будут выполнены, то данные, хранящиеся в ОЗУ, не могут быть считаны компьютером.

Независимо от условий синхронизации после заполнения буфера предыстории может задаваться переключение частоты дискретизации АЦП с текущей частоты на частоту 6,25МГц или 50МГц. Таким образом, в обеих частях памяти могут содержаться данные, записанные с разной частотой дискретизации.

Компьютер считывает данные ОЗУ, используя регистр данных АЦП. Информацию о готовности данных по окончании цикла записи ОЗУ компьютер может получить, опрашивая статусный регистр или по запросу прерывания IRQ.

Интерфейс ввода/вывода PCI

Интерфейс предназначен для организации обмена данными между компьютером и платой ЛА-н10М6PCI.

Контроллером шины PCI автоматически выбирается базовый адрес ЛА-н10М6PCI в адресном пространстве компьютера, а также линия прерывания IRQ.

Схема ввода/вывода данных в компьютер полностью совместима с протоколом шины PCI 2.1 и содержит необходимые внутренние регистры для программного управления. Плата ЛА-н10М6PCI для управления основными режимами имеет СБИС с программно загружаемой конфигурацией. Имеется два загрузочных программных модуля – для работы со встроенным кварцевым генератором или встроенным синтезатором частоты (опция).

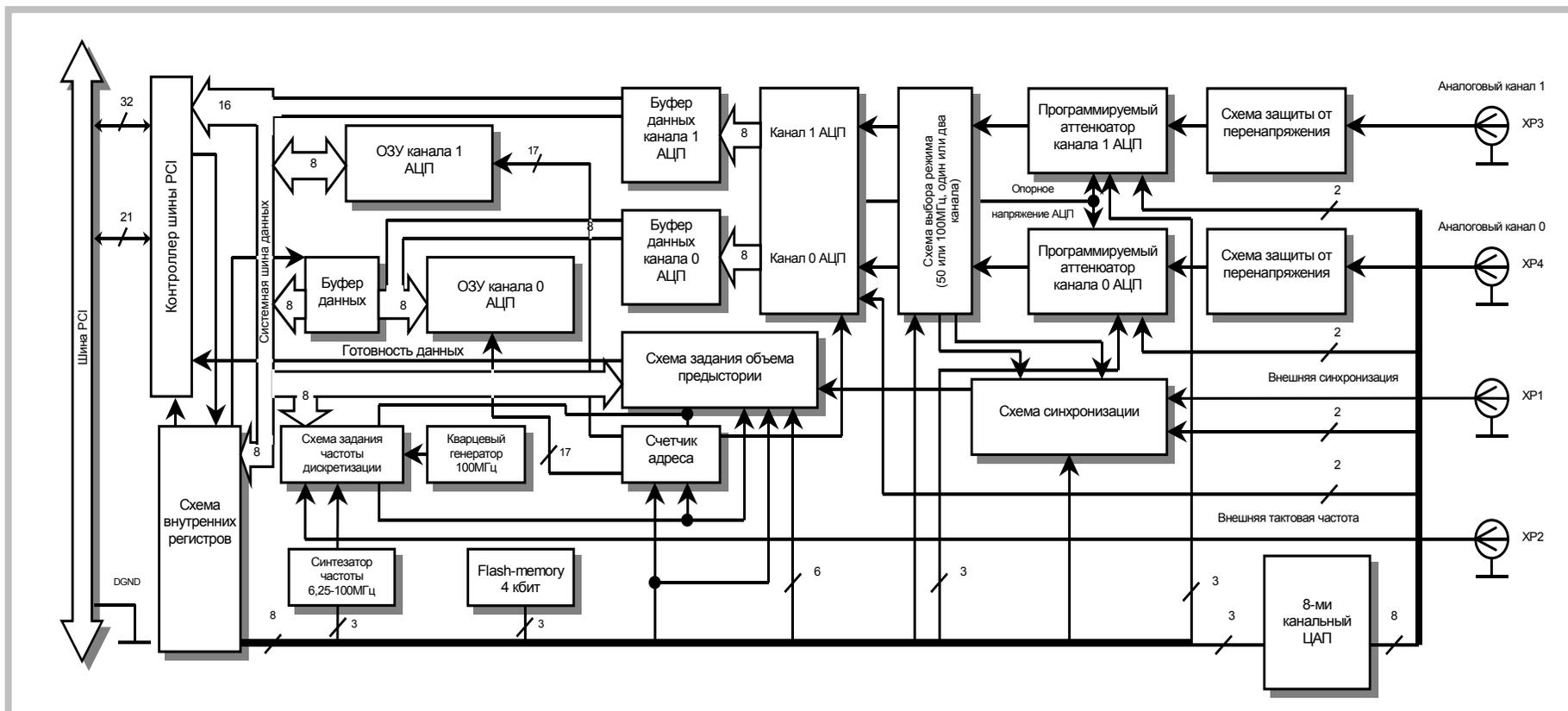


Рисунок 1. Функциональная схема ЛА-н10М6РСІ

КОНФИГУРАЦИЯ И УСТАНОВКА

Техника безопасности

- 1) Плата ЛА-н10М6РСІ содержит лишь цепи безопасного сверхнизкого напряжения и, согласно ГОСТ 25861-83 (СТ СЭВ 3743-82) п. 2.1.2 примечание, не требует специальной защиты персонала от случайного соприкосновения с вторичными цепями платы.
 - 2) Необходимо обратить внимание на то, что на плате АЦП ЛА-н10М6РСІ расположены радиоэлектронные компоненты, чувствительные к статическому электричеству, поэтому рекомендуется, перед тем как касаться платы руками, принять меры для снятия статического электричества с тела и одежды!
Также, для снятия статического электричества, присутствующего на самой плате и компьютере, перед установкой платы в компьютер необходимо коснуться корпуса компьютера внешней частью одним из разъемов платы <XP1 - XP4>.
 - 3) Следует обратить особое внимание на соединение платы с внешними устройствами – источниками сигналов. Если у них есть сетевой вторичный источник питания, необходимо проверить наличие общего заземления для этих устройств и компьютера, в составе которого используется плата ЛА-н10М6РСІ. Это заземление должно быть сделано заранее, до того момента, когда будет подано питание на все устройства.
 - 4) Желательно, чтобы все устройства с сетевым питанием использовали одну и ту же фазу (или фазы при трёхфазном питании) питающего напряжения. Это обеспечит одинаковый потенциал у земляного провода устройств, что устранил эффект уравнивания зарядов при присоединении устройств друг к другу. Этот эффект опасен кратковременным протеканием больших токов даже при обесточенной аппаратуре из-за малого сопротивления земляной шины. Полностью избежать его разрушительного влияния можно, лишь следуя сформулированному выше правилу, т.е. подключая аппаратуру к одной и той же фазе (фазам).
- *Совет. Попросту говоря, включайте все используемые в одной системе устройства: компьютеры, генераторы, измерительные приборы и т.д. – в один и тот же сетевой «тройник», и тогда не придется испытывать разочарование от отказа системы при «непонятных» обстоятельствах.*

Размещение разъемов на плате

Расположение разъемов (XP1, XP2, XP3, XP4) показано на рисунке (Рисунок 2).

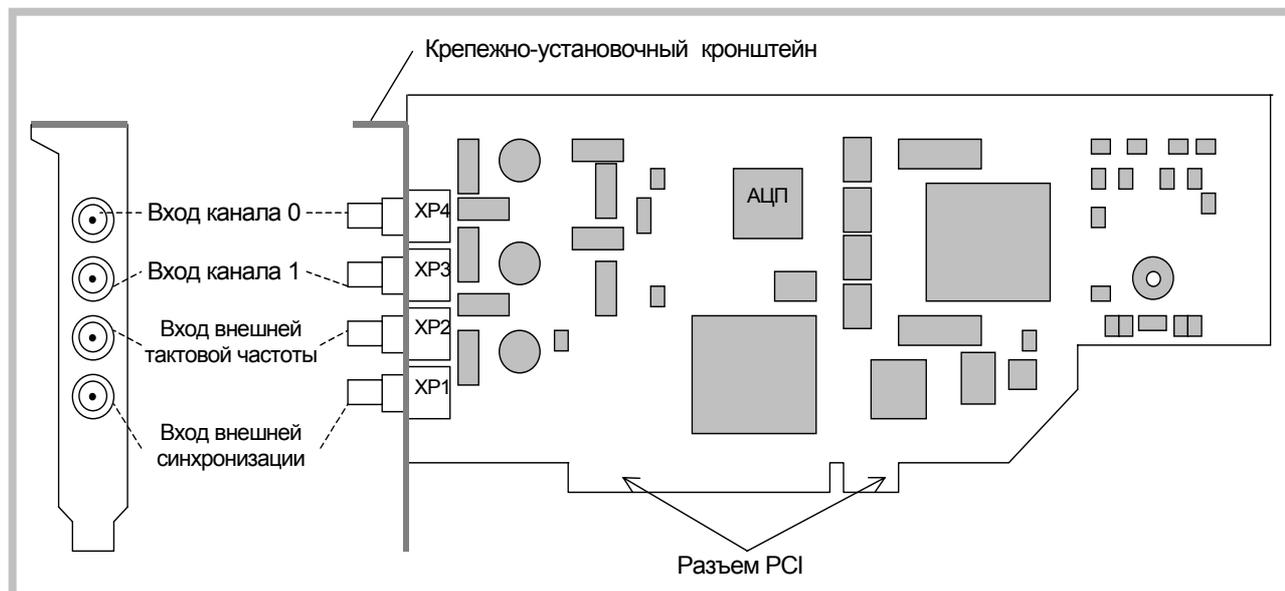


Рисунок 2. Схема размещения разъемов на плате

Назначение разъемов

Разъем	Тип разъема	Назначение
XP1	BNC	Вход внешней синхронизации
XP2	BNC	Вход внешней тактовой частоты
XP3	BNC	Вход аналогового канала 1
XP4	BNC	Вход аналогового канала 0

➤ Примечания!

- 1) Аналоговая земля AGND выведена на внешнюю часть разъемов XP<1, 3, 4>.
- 2) Цифровая земля DGND выведена на внешнюю часть разъема XP2.

Установка платы

Плата ЛА-н10М6РСІ может быть установлена в любой свободный РСІ-слот компьютера.

Далее приводится основная инструкция по установке платы ЛА-н10М6РСІ, однако кроме неё также следует руководствоваться руководством пользователя или техническими советами для вашего компьютера.

- 1) Внимательно ознакомьтесь с разделом «Техника безопасности» (смотри выше) перед установкой платы.
- 2) Выключите компьютер и все периферийные устройства (такие, например, как принтер, монитор).
- 3) Откройте крышку компьютера.
- 4) Установите разъем РСІ платы (см. Рисунок 2 на стр. 14) в свободный слот РСІ компьютера.
- 5) Прикрепите плату винтом за верхнюю часть её крепёжно-установочного кронштейна (см. Рисунок 2 на стр. 14) к задней панели корпуса ПК.
- 6) Закройте крышку компьютера и закрепите её винтами.
- 7) К разъёмам ХР<1...4> платы присоедините разъёмы с кабелями, соединяющими плату с внешними устройствами - источниками аналоговых или цифровых сигналов.
- 8) Плата ЛА-н10М6РСІ установлена и готова к работе.
- 9) Включите компьютер.

➤ *Примечания!*

- 1) *Монтаж или демонтаж платы ЛА-н10М6РСІ производить только при выключенном питании ПК и соединенных с ним периферийных устройств!*
- 2) *Перед каждой установкой платы рекомендуется протереть её интерфейсный разъем РСІ слегка увлажнённой спиртом хлопчатобумажной тканью.*
- 3) *При включении питания компьютер автоматически определяет подходящий для платы ЛА-н10М6РСІ базовый адрес в адресном пространстве компьютера и линию прерываний IRQ.*

Указания по подключению сигналов

Разъем	Описание входного сигнала
XP1	Внешняя синхронизация. Аналоговый сигнал амплитудой до $\pm 5\text{В}$ или ТТЛ-совместимый сигнал. На входе предусмотрено отключаемое дифференцирование (закрытый/открытый вход ²).
XP2	Внешняя тактовая частота АЦП (частота дискретизации АЦП). ТТЛ-совместимый сигнал. Частота сигнала не более 40 МГц. Длительность импульса не менее 10нс. Запуск АЦП осуществляется по положительному фронту сигнала.
XP3	Аналоговый сигнал амплитудой до $\pm 5\text{В}$. На входе предусмотрено отключаемое дифференцирование (закрытый/открытый вход).
XP4	Аналоговый сигнал амплитудой до $\pm 5\text{В}$. На входе предусмотрено отключаемое дифференцирование (закрытый/открытый вход).

➤ *Примечания!*

- 1) Аналоговая земля AGND выведена на внешнюю часть разъемов XP<1, 3, 4>.
- 2) Цифровая земля DGND выведена на внешнюю часть разъема XP2.
- 3) При эксплуатации платы во избежание выхода её из строя необходимо использовать источники сигналов только с известными выходными характеристиками, не превышающими предельно допустимых значений.

² Дифференцирование (открытый/закрытый вход) означает следующее: «открытый вход» – пропускается постоянная и переменная составляющие сигнала; «закрытый вход» – пропускается только переменная составляющая сигнала.

УПРАВЛЕНИЕ ПЛАТОЙ

Управление осуществляется программированием регистров платы, подробное описание которых приведено в разделе «Программирование». Краткое описание регистров по их назначению показано в таблице (Таблица 4).

Таблица 4. Назначение регистров платы ЛА-н10М6РСІ

Регистр	Назначение
Регистр синхронизации (Запись BASE+0)	Выбор режима и источника синхронизации.
Управляющий регистр (Запись BASE+1)	Выбор условий синхронизации и коэффициента деления первого каскада программируемого аттенюатора.
Регистр аналогового канала (Запись BASE+2)	Выбор коэффициента усиления второго каскада программируемого аттенюатора, включение или отключение дифференцирования аналоговых входов 0 и 1 и входа внешней синхронизации. Регистр позволяет выбрать режим удвоения частоты дискретизации АЦП.
Служебные регистры СБИС (Чтение BASE+3, Запись BASE+7, Запись BASE+8)	Регистры предназначены для внутренней конфигурации платы. Запись посторонней информации в служебные регистры может привести к нарушению работы платы.
Управляющий регистр передачи данных (Чтение/Запись BASE+4)	Управление режимом работы по линии прерываний IRQ.
Статусный регистр (Чтение BASE+5)	Оперативное определение состояния платы ЛА-н10М6РСІ.
Регистр синтезатора (опция) (Запись BASE+6)	Задание частоты синтезатора.
Сброс прерывания (Запись BASE+A)	Сброс прерывания.
Регистр делителя частоты синтезатора (опция) (Запись BASE+B)	Задание частоты дискретизации АЦП при работе с синтезатором частоты.

Регистр	Назначение
Регистр данных аналого-цифрового преобразования (Чтение BASE1+C)	Двоичный код аналого-цифрового преобразования каналов 0 и 1 АЦП.
Управляющий регистр 1 (Запись BASE+C)	Определение общего объёма памяти и объёма предыстории, а также разрешение переключения частоты дискретизации с текущей частоты на 50 МГц или 6,25 МГц.
Управляющий регистр 2 (Запись BASE+D)	Выбор частоты дискретизации АЦП (регистр доступен только при работе с внутренним кварцевым генератором и внешним источником тактовой частоты).
Регистр 8-ми разрядного ЦАП (Запись BASE+E)	Калибровка платы, управление аппаратным смещением, выбор уровня синхронизации.
Регистр запуска АЦП (Запись BASE+F)	Запуск АЦП и запись данных во внутреннее ОЗУ платы.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Предварительное замечание! Плата ЛА-н10М6РСІ для управления основными режимами имеет СБИС³ с программно загружаемой конфигурацией.

Для программирования платы на низком уровне необходимо знание спецификации РСІ 2.1, а также знание архитектуры и умение программировать РСІ мост PLX Technology РСІ9050. Кроме того, на каждой плате находится поправочные коэффициенты, которые записываются при производстве в энергонезависимую память. Эти коэффициенты используются программным обеспечением, поставляемым с платой. Вся эта информация выходит за рамки данного руководства. Поэтому настоятельно рекомендуется использовать плату в комплекте с прилагаемым программным обеспечением. В комплекте LASDK разработчику доступны как функции высокого уровня, позволяющие легко и просто программировать основные режимы работы платы, так и низкоуровневые, позволяющие непосредственно программировать регистры устройства. Для ознакомления с прилагаемым программным обеспечением смотрите соответствующее руководство.

➤ *Важно! При программировании на низком уровне вы работаете с набором виртуальных регистров, поле BASE определяется автоматически. Кроме того, различные регистры имеют разные базовые адреса, поэтому для доступа к ним не следует использовать инструкции обращения к портам ввода-вывода.*

Карта регистров

Карта регистров для ЛА-н10М6РСІ показана в таблице (Таблица 5). В таблице указывается имя регистра, адрес регистра (BASE+... или BASE1+...⁴), тип регистра (чтение, запись, или запись и чтение), а также размер регистра в битах.

Таблица 5. Карта регистров

Имя регистра	Адрес (Hex)	Тип	Размер
Регистр синхронизации	BASE+0	Запись	8
Управляющий регистр	BASE+1	Запись	8
Регистр аналогового канала	BASE+2	Запись	8
Резервный регистр (не используется)	BASE+3	-	-
Служебный. Статусный регистр СБИС	BASE+3	Чтение	8
Управляющий регистр передачи данных	BASE+4	Чтение/Запись	8
Статусный регистр	BASE+5	Чтение	8
Регистр синтезатора (опция)	BASE+6	Запись	8
Служебный. Загрузка СБИС	BASE+7	Запись	8

³ СБИС - сверхбольшая интегральная схема

⁴ Здесь следует заметить, что плата АЦП ЛА-н10М6РСІ использует два адресных пространства BASE+... и BASE1+...

Имя регистра	Адрес (Hex)	Тип	Размер
Служебный. Загрузка СБИС	BASE+8	Запись	8
Резервный регистр (не используется)	BASE+9	-	-
Сброс прерывания	BASE+A	Запись	8
Регистр делителя частоты синтезатора (опция)	BASE+B	Запись	8
Регистр данных аналого-цифрового преобразования	BASE+1+C	Чтение	16
Управляющий регистр 1	BASE+C	Запись	8
Управляющий регистр 2	BASE+D	Запись	8
Регистр 8-ми разрядного ЦАП	BASE+E	Запись	8
Регистр запуска АЦП	BASE+F	Запись	8

Регистр синхронизации (Запись BASE+0)

Регистр синхронизации предназначен для выбора режима и источника синхронизации.

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	X	x	x	X	x	CHN	ABT

Бит	Имя	Описание
D0	ABT	Включение/отключение синхронизации. 0 – синхронизация включена. 1 – синхронизация выключена.
D1	CHN	Синхронизация по аналоговому каналу 0 или 1. 0 – синхронизация по аналоговому каналу 0. 1 – синхронизация по аналоговому каналу 1.

➤ Примечание!

При включенной синхронизации ЛА-н10М6РС1 ожидает прихода синхроимпульса. Если синхроимпульса нет, то цикл записи в ОЗУ не закончится. При этом ПЭВМ будет постоянно находиться в режиме ожидания прерывания или флага готовности. В этом случае, для того чтобы просмотреть сигнал необходимо выключить синхронизацию.

Управляющий регистр (Запись BASE+1)

Регистр предназначен для выбора условий синхронизации и коэффициента деления первого каскада программируемого аттенюатора.

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	X	x	x	CD1	CD0	SS1	SS0

Условие синхронизации	SS1	SS0
По спаду от аналогового канала	0	0
По спаду от внешнего сигнала синхронизации	0	1
По фронту от аналогового канала	1	0
По фронту от внешнего сигнала синхронизации	1	1

➤ Примечания!

- 1) При запуске АЦП по спаду напряжения аналогового канала пуск преобразования произойдет при совпадении выбранного уровня синхронизации с входным уровнем напряжения аналогового канала при условии, когда производная в точке совпадения этих уровней отрицательна (по спаду уровня входного напряжения аналогового канала).
- 2) При запуске АЦП по фронту напряжения аналогового канала пуск преобразования произойдет при совпадении выбранного уровня синхронизации с входным уровнем напряжения аналогового канала при условии, когда производная в точке совпадения этих уровней положительна (по фронту уровня входного напряжения аналогового канала).

Задание коэффициента деления программируемого аттенюатора

Первый каскад программируемого аттенюатора имеет в каждом аналоговом канале два независимых программно переключаемых коэффициента деления входного сигнала для канала 0 или 1.

Бит	Имя	Описание
D2	CD0	Коэффициент деления входного сигнала канала 0. 0 – 1:25. 1 – 1:5.
D3	CD1	Коэффициент деления входного сигнала канала 1. 0 – 1:25. 1 – 1:5.

Установка диапазона напряжений входного сигнала аналогового канала 0 или 1

Диапазон напряжений входного сигнала устанавливается записью соответствующих битов CD0 и CD1, а также битов KU0 и KU1 «Регистра аналогового канала (Запись BASE+2)». Выбор коэффициента усиления каждого аналогового канала независимый. Общий коэффициент передачи аналогового канала равен $KU \times (1/CD)$.

Таблица 6. Запись битов CD и KU для установления входного диапазона платы

Входной диапазон	CD	KU
±5V	0	1
±2,5V	0	0
±1V	1	1
±0,5V	1	0

Регистр аналогового канала (Запись BASE+2)

Регистр предназначен для выбора коэффициента усиления второго каскада программируемого аттенюатора, включения или отключения дифференцирования аналоговых входов 0 и 1 и входа внешней синхронизации.

Регистр позволяет выбрать режим удвоения частоты дискретизации АЦП.

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
DIFS	X	M100	x	KU0	DIF0	KU1	DIF1

Бит	Имя	Описание
D0	DIF1	Дифференцирование ⁵ аналогового канала 1 0 – вход открытый (дифференцирование выключено) 1 – вход закрытый (дифференцирование включено).
D1	KU1	Коэффициент усиления аналогового канала 1. 0 – 10. 1 – 5.
D2	DIF0	Дифференцирование аналогового канала 0 0 – вход открытый (дифференцирование выключено) 1 – вход закрытый (дифференцирование включено).
D3	KU0	Коэффициент усиления аналогового канала 0. 0 – 10. 1 – 5.
D4	Без имени	Не используется.
D5	M100	Режим работы АЦП от кварцевого генератора. 0 – два синхронных канала . 1 – режим удвоения частоты дискретизации АЦП (канал 0).

⁵ Дифференцирование (открытый/закрытый вход) означает следующее: «открытый вход» – пропускается постоянная и переменная составляющие сигнала; «закрытый вход» – пропускается только переменная составляющая сигнала.

D6	Без имени	Не используется.
D7	DIFS	Состояние входа внешней синхронизации (дифференцирование). 0 – вход открытый (дифференцирование выключено) 1 – вход закрытый (дифференцирование включено).

Управляющий регистр передачи данных (Чтение/Запись BASE+4)

Управляющий регистр передачи данных предназначен для управления режимом работы по линии прерываний IRQ.

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
x	x	x	x	X	x	x	ENI

Бит	Имя	Описание
D0	ENI	Разрешение/запрещение работы по IRQ. 0 – запрещение. 1 – разрешение.

➤ *Примечание!*

Запрос на IRQ выставляется только по окончании цикла записи данных во внутреннее ОЗУ платы ЛА-н10М6РСІ.

Статусный регистр (Чтение BASE+5)

Регистр предназначен для оперативного определения состояния платы ЛА-н10М6РСІ.

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
x	x	x	x	x	x	IRQ	DR

Бит	Имя	Описание
D0	DR	Готовность данных для чтения. 0 – нет готовности. 1 – есть готовность.
D1	IRQ	Есть/нет запрос на прерывание IRQ. 0 – нет запроса. 1 – есть запрос.

➤ *Примечания!*

- 1) *Бит D0 установится в единицу по окончании цикла записи во внутреннее ОЗУ платы ЛА-н10М6РСІ.*
- 2) *Бит D0 автоматически установится в ноль при начале цикла записи во внутреннее ОЗУ платы ЛА-н10М6РСІ.*
- 3) *Бит D1 можно сбросить (обнулить), подав соответствующую команду (смотри далее регистр по адресу BASE+A).*

Регистр синтезатора (опция) (Запись BASE+6)

➤ *Специальное замечание!*

- ◆ *Регистр доступен только при работе с синтезатором частоты!*

Регистр предназначен для задания частоты синтезатора.

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	x	x	x	1	ST	DATA	CLK

Бит	Имя	Описание
D0	CLK	Синхроимпульсы данных (Рисунок 3).
D1	DATA	Данные для задания частоты синтезатора (Слово размером 14 бит).
D2	ST	Стробирующий сигнал. Переход из 1 в 0 означает конец ввода слова DATA (данных для задания частоты синтезатора).
D3	1	Должен быть равен 1.

Частота синтезатора вычисляется по формуле:

$$f_{\text{СИНТЕЗАТОРА}} = \frac{M}{2^{N+2}}, \text{ МГц}$$

где коэффициенты N и M задаются через бит DATA (смотри временную диаграмму для программирования Регистра синтезатора, показанную на рисунке (Рисунок 3)).

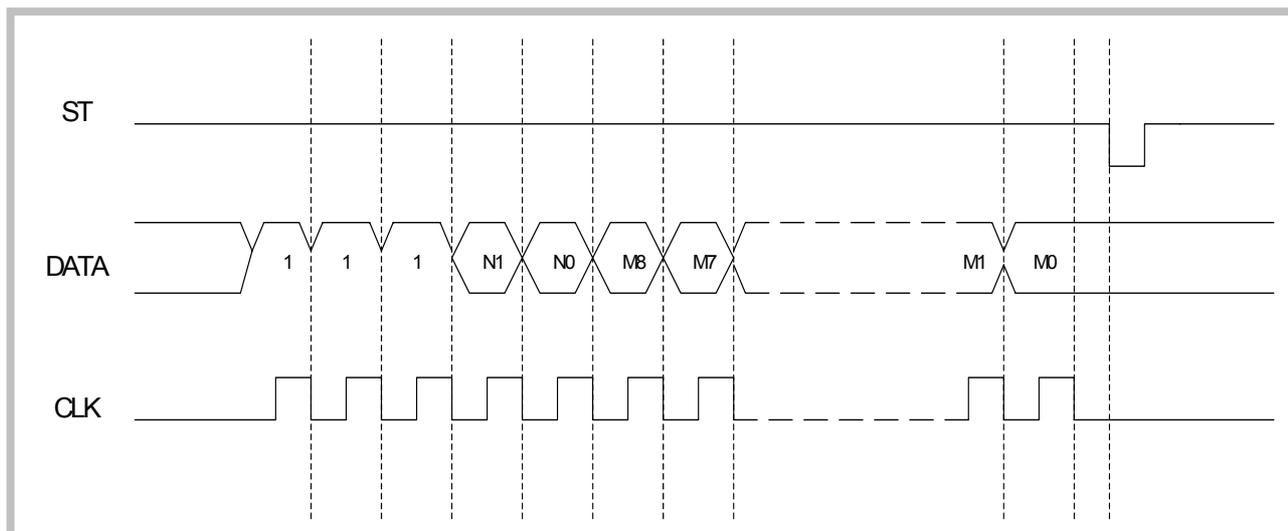


Рисунок 3. Временная диаграмма для программирования Регистра синтезатора (Запись BASE+6)

Карта битов слова данных для задания частоты синтезатора (DATA):

D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	1	1	N1	N0	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	M0

Бит	Имя	Описание
D<0...8>	M<0...8>	Коэффициент M. M – целое число и изменяется в пределах 200÷400.
D<9...10>	N<0...1>	Коэффициент N. N = 0, 1, 2 или 3.
D<11...13>	1	Всегда равен 1

➤ Примеры.

- 1) Пусть требуется задать частоту синтезатора $f_{\text{СИНТЕЗАТОРА}}=28,125\text{МГц}$. Коэффициенты $M=225$ и $N=1$. Подставив в формулу коэффициенты, получим:

$$f_{\text{СИНТЕЗАТОРА}} = \frac{M}{2^{N+2}} = \frac{225}{8} = 28,125\text{МГц} .$$

Следовательно, для задания частоты синтезатора $f_{\text{СИНТЕЗАТОРА}}=28,125\text{МГц}$ необходимо через бит DATA записать коэффициенты $M=225$ и $N=1$ в двоичном виде согласно карте битов слова данных для задания частоты синтезатора (DATA) и временной диаграмме (Рисунок 3).

- 2) Пример программирования Регистра синтезатора (Запись BASE+6) показан в таблице (Таблица 7).

Таблица 7. Пример программирования Регистра синтезатора (Запись BASE+6)

ST	DATA	CLK
1	1	0
1	1	1
1	1	0
1	1	1
1	1	0
1	1	1
1	N1	0
1	N1	1
1	N0	0
1	N0	1
1	M8	0
1	M8	1
1	M7	0
1	M7	1
...
...
1	M1	0
1	M1	1
1	M0	0
1	M0	1
1	...	0
0	...	0

Служебные регистры СБИС (Чтение BASE+3, Запись BASE+7, Запись BASE+8)

Регистры предназначены для внутренней конфигурации платы. Запись посторонней информации в служебные регистры может привести к нарушению работы платы.

Сброс прерывания (Запись BASE+A)

Регистр сброса прерываний предназначен для сброса запроса на прерывание. При записи любого числа по адресу BASE+A происходит сброс запроса на прерывание и обнуление бита D1 (IRQ=0) в Статусном регистре (Чтение BASE+5).

Регистр делителя частоты синтезатора (опция) (Запись BASE+B)

➤ *Специальное замечание!*

◆ *Регистр доступен только при работе с синтезатором частоты!*

Регистр предназначен для задания частоты дискретизации АЦП при работе с синтезатором частоты.

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
DS7	DS6	DS5	DS4	DS3	DS2	DS1	DS0

Бит	Имя	Описание
D<0...7>	DS<0...7>	<p>Двоичный код коэффициента деления частоты DS.</p> <p>DS изменяется в пределах 0÷254 и задает частоту дискретизации АЦП, вычисляемую по одной из формул:</p> <p>1) $f_{АЦП} = \frac{f_{СИНТЕЗАТОРА}}{2}$ (для DS = 0).</p> <p>2) $f_{АЦП} = \frac{f_{СИНТЕЗАТОРА}}{2(256 - DS)}$ (для DS = 1÷254);</p> <p>$f_{синтезатора}$ задается в «Регистре синтезатора (Запись BASE+6)».</p>

➤ Пример:

Пусть в «Регистр делителя частоты синтезатора (Запись BASE+B)» записан коэффициент DS=253. Тогда будет задана следующая частота дискретизации АЦП:

$$f_{АЦП} = \frac{f_{СИНТЕЗАТОРА}}{2(256 - 253)} = \frac{f_{СИНТЕЗАТОРА}}{6}$$

Регистр данных аналого-цифрового преобразования (Чтение BASE1+C)

Карта битов канала 0 АЦП:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
AD7	AD6	AD5	AD4	AD3	AD2	AD1	AD0

Карта битов канала 1 АЦП:

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
AD15	AD14	AD13	AD12	AD11	AD10	AD9	AD8

Бит	Имя	Описание
D<0...7>	AD<0...7>	Двоичный код аналого-цифрового преобразования канала 0 АЦП. AD7 – старший бит. AD0 – младший бит.
D<8...15>	AD<8...15>	Двоичный код аналого-цифрового преобразования канала 1 АЦП. AD15 – старший бит. AD8 – младший бит.

При входном диапазоне напряжений ±5В, характеристика преобразования АЦП выглядит так, как показано на рисунке (Рисунок 4). При этом младший значащий разряд (МЗР) имеет величину 39 мВ (10В/256, где 256=2⁸).

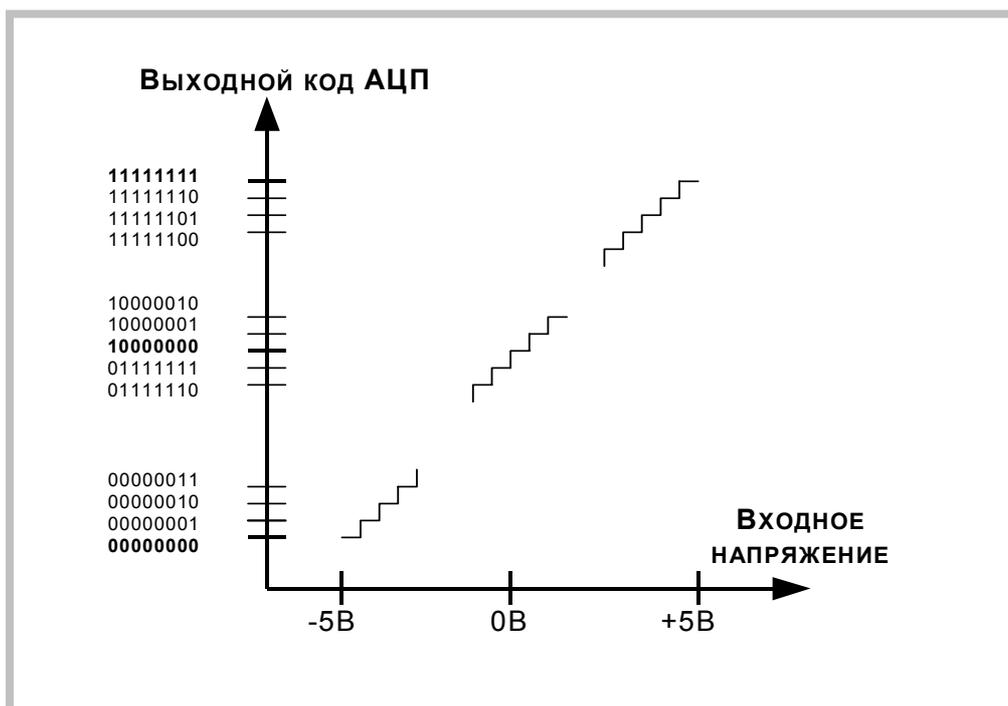


Рисунок 4. Характеристика преобразования АЦП для входного диапазона $\pm 5\text{В}$

Управляющий регистр 1 (Запись BASE+C)

➤ *Специальное замечание!*

◆ *Бит D0 регистра доступен только при работе с кварцевым генератором и внешним источником тактовой частоты!*

Управляющий регистр 1 предназначен для определения общего объема памяти и объема предыстории, а также для разрешения переключения частоты дискретизации с текущей частоты на 50 МГц или 6,25 МГц (смотри «Управляющий регистр 2 (Запись BASE+D)»).

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
M3	M2	M1	P4	P3	P2	P1	ESW

Бит	Имя	Описание
D0	ESW	Разрешение/запрещение переключения частоты дискретизации. 0 – разрешение. 1 – запрещение.
D<1...4>	P<1...4>	Задание объема буфера предыстории (Таблица 8).
D<5...7>	M<1...3>	Задание общего объема буфера памяти (Таблица 9).

Таблица 8. Задание объема памяти предыстории

P4	P3	P2	P1	Объем памяти предыстории
0	0	0	0	BC (общий объем буфера памяти)-15×BC/16-BC/16
0	0	0	1	BC-14×BC/16-BC/16
...
1	1	1	1	BC-BC/16

Таблица 9. Задание общего объема буфера памяти

M3	M2	M1	Общий объем буфера памяти (BC)
0	0	0	1К×8 бит×2 канала
0	0	1	2К×8 бит×2 канала
0	1	0	4К×8 бит×2 канала
0	1	1	8К×8 бит×2 канала
1	0	0	16К×8 бит×2 канала
1	0	1	32К×8 бит×2 канала
1	1	0	64К×8 бит×2 канала
1	1	1	128К×8 бит×2 канала

➤ *Примечания!*

1) Когда ESW=0, во время переключения частоты дискретизации возможно однократное появление ложного кода!

2)

$$BC - (P4 \times 2^3 + P3 \times 2^2 + P2 \times 2^1 + P1 \times 2^0) \times BC/16 - BC/16.$$

3) Таблица 8: объем памяти предыстории вычисляется по формуле:

4) Таблица 9: K = 1024.

Управляющий регистр 2 (Запись BASE+D)

➤ *Специальное замечание!*

◆ Регистр доступен только при работе с внутренним кварцевым генератором и внешним источником тактовой частоты!

Управляющий регистр 2 предназначен для установления частоты дискретизации АЦП одновременно для двух каналов.

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
x	x	x	FSW	SR4	SR3	SR2	SR1

Бит	Имя	Описание
D<0...3>	SR<1...4>	Задание частоты дискретизации АЦП одновременно для двух каналов (Таблица 10).
D4	FSW	0 – переключение частоты дискретизации с текущей на 50МГц по окончании записи предыстории и по приходу синхросигнала, если в «Управляющем регистре 1 (BASE+C)» ESW=0. 1 – переключение с текущей частоты на 6,25 МГц по окончании записи предыстории и по приходу синхросигнала, если в «Управляющем регистре 1 (BASE+C)» ESW=0.

Таблица 10. Задание частоты дискретизации АЦП

SR4	SR3	SR2	SR1	Частота дискретизации
0	0	0	0	Внешняя частота дискретизации/2
0	0	0	1	50МГц
0	0	1	0	25МГц
...
1	1	1	1	3,052кГц

Регистр 8-ми разрядного ЦАП (Запись BASE+E)

Регистр предназначен для программирования смещения и уровня синхронизации, а также для калибровки коэффициентов усиления на разных частотах дискретизации АЦП.

Карта битов:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
x	x	x	x	x	CS	SDI	CLK

Бит	Имя	Описание
D0	CLK	Синхроимпульсы данных (Рисунок 3).
D1	SDI	Данные для задания номера канала ЦАП и данных ЦАП (Слово размером 11 бит).
D2	CS	Стробирующий сигнал. Переход из 1 в 0 означает начало ввода слова SDI (данных для задания кода ЦАП). Переход из 0 в 1 означает конец ввода слова SDI (данных для задания кода ЦАП).

ЦАП программируется по последовательному интерфейсу через бит SDI (смотри временную диаграмму для программирования, показанную на рисунке (Рисунок 5)).

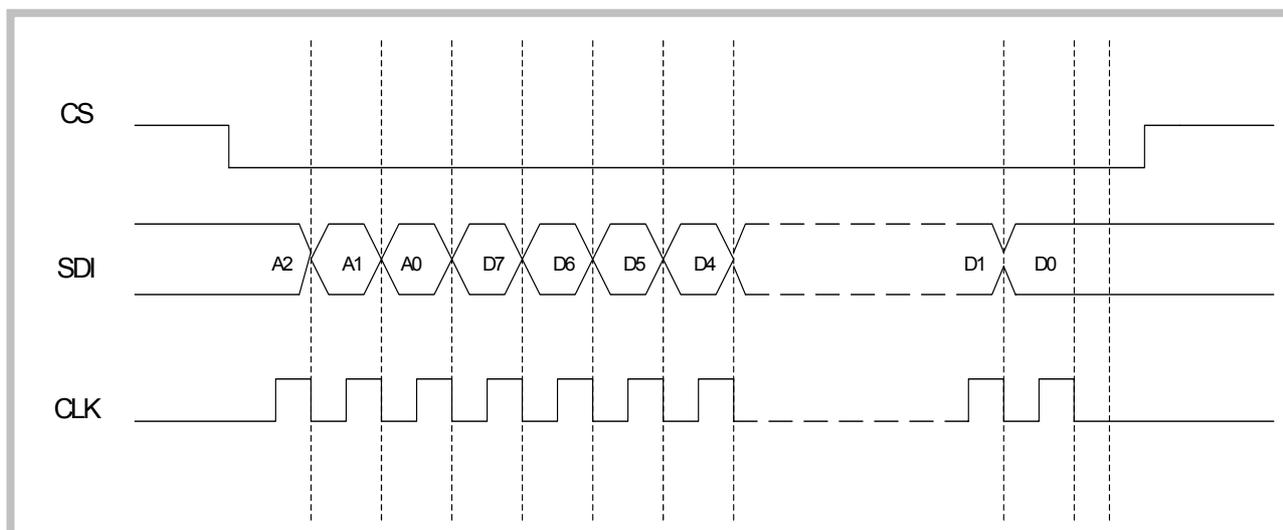


Рисунок 5. Временная диаграмма для программирования 8-ми разрядного ЦАП (Запись BASE+E)

Карта битов слова данных для 8-ми разрядного ЦАП (SDI):

D11	D10	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
A2	A1	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Бит	Имя	Описание
D<0...7>	D<0...7>	Данные 8-ми разрядного ЦАП.
D<8...11>	A<0...2>	Выбор канала ЦАП. Для выбора канала ЦАП нужно записать число, указанное в таблице (Таблица 11).

Таблица 11. Выбор канала ЦАП

Число (десятичное)	Канал ЦАП
0	Смещение канала 0
1	Калибровка смещения канала 0
2	Смещение канала 1
3	Калибровка смещения канала 1
4	Калибровка усиления канала 0
5	Калибровка усиления канала 1
6	Уровень синхронизации
7	Калибровка уровня синхронизации

➤ **Примечание.**

При инициализации платы, при переключении входного диапазона или частоты дискретизации АЦП, из flash-памяти находящейся на плате, считываются поправочные коэффициенты. Далее, эти коэффициенты заносятся 8-ми разрядный ЦАП, для автоматической калибровки усиления, смещения и уровня синхронизации. При низкоуровневом программировании не рекомендуется самостоятельно заносить информацию в те каналы ЦАП, которые предназначены для калибровки. Для этой цели следует использовать соответствующие функции из программного обеспечения, прилагаемого к плате.

Регистр запуска АЦП (Запись BASE+F)

Регистр предназначен для запуска АЦП и записи данных во внутреннее ОЗУ платы. Данный режим устанавливается записью любого числа по адресу BASE+F.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАТЫ

Регламентирующие документы

При оценке метрологических характеристик АЦП обычно пользуются параметрами, которые регламентируются ГОСТ 24736-81 и ОСТ 1100783-84. В эти параметры входят:

- число разрядов АЦП;
- время установления;
- время преобразования;
- нелинейность;
- дифференциальная нелинейность;
- амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);
- фазочастотная характеристика (ФЧХ).

Согласно указанным нормативным документам параметры АЦП определяются при подаче на его вход постоянных уровней напряжения во всем динамическом диапазоне преобразователя. Исключение составляют АЧХ и ФЧХ, которые определяются при подаче на вход АЦП гармонических воздействий.

Особенности реальных измерений

В реальных условиях АЦП часто используются для преобразования в цифровой код переменных входных воздействий, а в таком режиме упомянутых параметров и знаний АЧХ и ФЧХ может оказаться недостаточно для определения применимости АЦП в реальных условиях. В этом смысле важно отметить следующее.

- 1) Естественно называть статическим режимом работы АЦП такой, при котором за время преобразования входной сигнал меняется не более величины МЗР АЦП. При этом входной сигнал для самого АЦП будет статическим, хотя для тракта, по которому распространяется сигнал до того, как попадет в АЦП, он является динамическим.
- 2) Так как наряду с АЦП часто используются другие устройства, такие как: мультиплексоры, усилители, фильтры, УВХ, их искажения будут суммироваться с погрешностью АЦП и определять метрологическую характеристику (МХ) адаптера, в состав которого входит АЦП. В настоящее время развитие микроэлектроники привело к тому, что многие из перечисленных устройств стали неотъемлемой частью микросхем АЦП.

При этом вследствие динамического взаимодействия измеряемого сигнала с элементами АЦК, знания основных метрологических характеристик АЦК по вышеперечисленным нормативным документам оказывается явно недостаточно. Поэтому Центр АЦП применяет, наряду с регламентированными этими ГОСТ, другие метрологические характеристики АЦК для расчёта инструментальной погрешности результатов измерения.

Знание МХ АЦК позволяет решить следующие прикладные вопросы:

- оценка инструментальной погрешности измерений. При этом должны учитываться и все факторы, влияющие на инструментальную погрешность: изменения влияющих величин (температуры окружающей среды, напряжения питания, воздействия электромагнитных полей и других неинформативных параметров входного сигнала), свойства объекта измерений, частота

изменения измеряемых величин, выходные свойства устройств, к которым подключается плата АЦП, и др.;

- выбор средства измерений, МХ которого обеспечили бы требуемое качество измерения в известных условиях применения средств измерения (СИ);
- сравнение СИ различных типов по МХ. При этом должны быть известны условия применения СИ;
- разработка сложных измерительных систем, используя при этом МХ отдельных компонентов системы;
- оценка погрешностей измерительных систем по МХ компонентов. Иногда единственно возможным путём решения этой задачи является расчётный путь по известным МХ компонентов.

Использование и выбор вида МХ должно быть наилучшим образом ориентированы на конкретное применение СИ.

В соответствии с ГОСТ 8.009-84 необходимо в нормативно-технической документации на СИ приводить такие нормированные МХ (НМХ), используя которые можно было бы решить следующие задачи:

- определение результатов измерения (без учёта поправки на систематическую погрешность измерения);
- расчёт оценки инструментальной погрешности измерений данного вида в реальных условиях применения.

Для определения результатов измерения напряжения на входе платы АЦП используются следующие НМХ:

- диапазон входных напряжений АЦП;
- коэффициент усиления инструментального усилителя;
- коэффициент усиления программируемого усилителя;
- число разрядов АЦП (следовательно, величина МЗР);
- частота дискретизации АЦП.

Для определения оценки инструментальной погрешности измерений переменного напряжения используются следующие параметры:

- ошибка сдвига;
- ошибка диапазона;
- число эффективных разрядов (ЧЭР).

Ошибка диапазона является статической аддитивной погрешностью. Число эффективных разрядов в зависимости от частоты измеряемого сигнала - комплексный динамический параметр, который учитывает шумовые и нелинейные погрешности АЦК. ЧЭР включает в себя шумы - аналоговой части АЦК, квантования, дифференциальной нелинейности АЦП; интегральную нелинейность, и инерционные свойства звеньев АЦК.

Помимо ЧЭР - комплексного параметра, используются частные динамические НМХ:

- отношение сигнал/шум;
- коэффициент гармоник (нелинейные искажения);
- относительные уровни гармоник;
- отношение сигнал/шум + искажения;
- реальный динамический диапазон.

Все частные динамические НМХ используются в зависимости от частоты входного сигнала, частоты дискретизации АЦП, коэффициентов усиления АЦК, режимов включения усилителей и диапазона характеристики преобразования АЦП платы.

Статические параметры АЦП

Здесь описываются статические параметры АЦП, которые регламентированы ГОСТ 24736-81 «Преобразователи интегральные цифро-аналоговые и аналого-цифровые. Основные параметры» и ОСТ 1100783-84. Рисунок (Рисунок 6) призван помочь более наглядно представить предмет обсуждения.

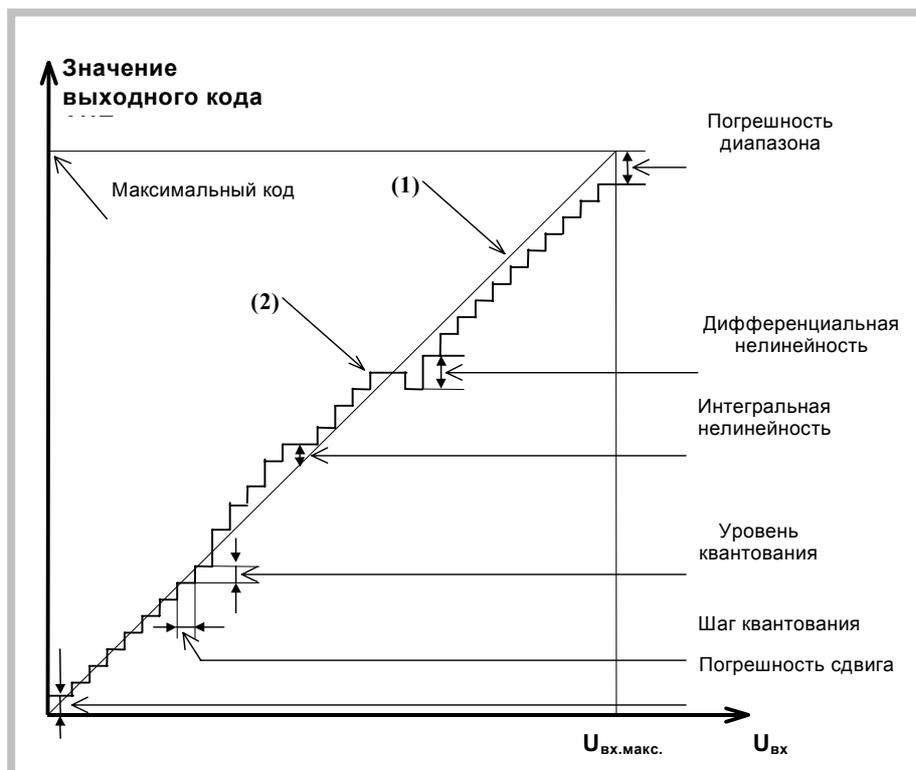


Рисунок 6. Статические параметры АЦП

- **Характеристика преобразования ХП (2)** – зависимость выходного кода АЦП от входного напряжения $U_{вх}$.
- **Идеальная характеристика преобразования (1)** – прямая линия, “наиболее приближенная” к точкам характеристики преобразования.
- **Число разрядов АЦП, N.** Двоичный логарифм максимального числа кодовых комбинаций на выходе АЦП. Если число разрядов N, тогда число 2^N даст количество комбинаций в выходном коде преобразователя, при этом их диапазон будет равно $0 \div (2^N - 1)$.
- **Пример.** Для 12-разрядного АЦП количество комбинаций составит $2^{12} = 4096$ в диапазоне от 0 до 4095.
- **Время преобразования, $t_{прб}$.** Интервал времени от начала преобразования АЦП до появления на выходе устойчивого кода, соответствующего входному напряжению.
- **Погрешность сдвига.** Смещение характеристики преобразования в точке начала координат графика. После того как АЦП сбалансирован, то есть минимальное значение кода АЦП соответствует минимальному входному напряжению, может остаться отличие реальной характеристики от идеальной.

Если рассматривать АЦП как вольтметр, то погрешность сдвига и погрешность диапазона равноценны систематической составляющей основной погрешности

платы во всём диапазоне входных напряжений. При этом принципиально то, что величина этой погрешности зависит от усиления инструментального и программируемого усилителя, а также от диапазонов АЦП.

- **Отклонение в конечной точке**, $\delta_{\text{пд}}$. Погрешность диапазона, т.е. погрешность преобразователя в конечной точке диапазона.

➤ *Примечание.*

Обычно погрешность сдвига и диапазона выражаются в единицах МЗР.

- **Пороговый уровень** - величина входного аналогового уровня АЦП, при котором выходной код меняется на 1. Общее число пороговых уровней вследствие наличия дифференциальной нелинейности может быть меньше числа уровней квантования АЦП.
- **Интегральная нелинейность** (или просто **нелинейность**). Отклонение по вертикальной оси точек реальной характеристики от идеальной характеристики преобразования, делящих пополам расстояние (по оси абсцисс) между средними значениями пороговых уровней ХП (см. график). Измеряется в процентах или единицах МЗР. Интегральная нелинейность является функцией от пороговых уровней АЦП.

➤ *Примечание.*

При разработке АЦП предусматривают возможность регулировки погрешности сдвига и диапазона, а также нелинейности для их минимизации.

- **Дифференциальная нелинейность (не монотонность)**, $\delta_{\text{диф}}$. Отклонение разности двух аналоговых сигналов, соответствующих последовательной смене кодов, от значения, соответствующего единице МЗР. Иначе говоря, при монотонном увеличении сигнала на выходе АЦП может возникать код, который соответствует одному и тому же входному сигналу, в то время как сам входной сигнал изменился более одного шага квантования, который равен $U_{\text{ВХ.МАКС}}/2^N$. Измеряется в процентах или единицах МЗР. Дифференциальная нелинейность - функция пороговых уровней АЦП.

- **Пример.** Дифференциальная нелинейность в половину МЗР говорит о том, что два входных уровня, различающихся на половину шага квантования, вызвали появление соответствующих соседних кодов на выходе АЦП.

➤ *Примечание.*

В реальном АЦП по каким-либо причинам может возникать пропадание кода на его выходе, что эквивалентно появлению дифференциальной нелинейности. Отличие в том, что сама по себе дифференциальная погрешность является систематической погрешностью, то есть возникает всегда при подаче на вход АЦП соответствующего входного сигнала, а пропадание кода чаще является случайным процессом и зависит от условий обмена по шине данных ПК.

Динамические параметры АЦК

В реальных условиях эксплуатации для описания МХ АЦК удобно использовать не только статические, но и динамические параметры, которые, согласно ГОСТ 8.009-84, представляют собой МХ СИ, в которых выходная реакция СИ определяется значениями измеряемого сигнала и изменениями этого сигнала во времени.

Динамические параметры АЦП следующие:

- отношение сигнал/шум;
- отношение сигнал/шум + искажения;
- коэффициент нелинейных (гармонических) искажений;
- относительные уровни гармоник при гармоническом входном воздействии;
- реальный динамический диапазон;
- число эффективных разрядов.

Комплексный динамический параметр - число эффективных разрядов в зависимости от частоты входного гармонического сигнала считается основным для АЦК.

Кроме того, имеет смысл приводить МХ дифференциальную нелинейность и усреднённую характеристику преобразования, измеренные в динамическом режиме калибровки. В определённых применениях АЦК (например, в радиолокации) знание этих МХ позволяет обоснованно решить задачу выбора СИ.

Для того чтобы измерить динамические метрологические характеристики АЦК, можно подать на его вход тестовый синусоидальный сигнал и вычислить затем с помощью быстрого преобразованию Фурье (БПФ) частотный спектр выходного сигнала АЦП. В качестве калибровочного выбирается гармонический синусоидальный сигнал низкочастотного генератора с искажениями, приемлемыми для работы с АЦП имеющейся разрядности.

➤ *Примечание.*

Под сигналом далее подразумевается спектральная составляющая, соответствующая входному сигналу калибровки. Шум определяется как совокупность всех остальных нежелательных компонент: побочных частот и шумового фона, не считая гармоник сигнала.

- **Отношение С/Ш.** Для его получения необходимо просуммировать мощности спектральных составляющих, за исключением постоянной составляющей и гармоник сигнала, и вычислить отношение мощности главной спектральной составляющей к результату суммирования.

В случае идеального АЦП БПФ измеренной реализации даст узкополосный спектр с ярко выраженным главным максимумом, соответствующим частоте подаваемого на вход АЦП синусоидального напряжения. Причём, мощность, сосредоточенная вблизи главного максимума, по отношению к остальной мощности, распределенной в остальной части частотного диапазона, будет максимальна.

На практике отношение С/Ш может учитывать гармоники основной частоты, если это указано специально. Такой параметр называют **отношение сигнала к шуму плюс искажения** (С/[Ш+И]). Для идеального АЦП, как известно, с учетом только шума квантования справедливо соотношение $C/Ш [дБ] = (6,02 \cdot N + 1,76)$. В случае идеального 16-разрядного это даст $6,02 \times 16 + 1,76 = 98 [дБ]$. Использование реального АЦП, неминуемо вносящего дополнительные погрешности в процесс измерения, приведет к ухудшению С/Ш.

Экспериментально можно измерить С/[Ш+И], используя высококачественный измеряемый сигнал и вычисляя БПФ, включая в понятие шума и гармоники сигнала

(искажения). Тогда, подставляя полученное отношение в описанную формулу, можно найти число эффективных разрядов АЦП.

- **Коэффициент гармонических искажений (К_{ги}).** Определяется нелинейностью характеристики преобразования на определённой частоте и вычисляется как отношение суммы рассчитанных вышеописанным образом мощностей гармоник к мощности главной спектральной составляющей или первой гармонике.

➤ *Пример.*

Для случая использования 2-й, 3-й, 4-й и 5-й гармоник

$$K_{ги} [дБ] = 10Lg((\sum(A_2)^2 + (A_3)^2 + (A_4)^2 + (A_5)^2) / (A_1)^2),$$

где A_1 – амплитуда основной гармоники, $A_{2...5}$ – амплитуды гармоник основной частоты.

- **Реальный динамический диапазон (РДД).** Определяется как отношение энергии основной спектральной составляющей сигнала, к амплитуде следующей по величине гармоники или шумовому выбросу. Знание РДД приобретает важность в тех применениях, где гармоники, побочные составляющие и шумы не должны превосходить по уровню самый слабый из подлежащих преобразованию сигнал. В большинстве случаев эту информацию дает оценка уровня гармоник в полосе АЦК, поскольку большая из гармоник обычно превосходит шумовой фон и побочные компоненты. Знание реального динамического диапазона АЦК в составе радиолокационной системы обеспечит возможность оценки её применимости для определения слабых сигналов.
- **Число эффективных разрядов (ЧЭР), $N_{эфф}$.** Шум и гармоники влияют на точность измерений. Можно сказать, что у АЦП уменьшается разрядность. ЧЭР учитывает любые виды погрешностей. Все ошибки преобразователя, обусловленные дифференциальной и интегральной нелинейностями, апертурной неопределенностью (джиттер), и пропуском кодов, выступают как составляющие некоторой суммарной среднеквадратической погрешности. Нетрудно показать, что ЧЭР вычисляется по формуле: $N_{эфф} = (C/[Ш+И] - 1,76)/6,02$, где $C/[Ш+И]$ вычисляется по результату вычисления преобразования Фурье измеренного калибровочного гармонического сигнала.

Оборудование, созданное Центром АЦП ЗАО «Руднев-Шиляев», позволяет калибровать АЦК в динамическом режиме по параметрам, получаемым с помощью БПФ, с точностью до 16 разрядов и оценивать параметры АЦК с точностью до 24 разрядов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ КАЛИБРОВКИ ПЛАТЫ ЛА- н10М6РСІ

Калибровка платы производится по следующим статическим параметрам:

- собственный шум при закороченных входах;
- дифференциальная нелинейность;
- интегральная нелинейность.

Калибровка платы производится по следующим динамическим параметрам:

- дифференциальная нелинейность на гармоническом сигнале;
- усреднённая характеристика преобразования на гармоническом сигнале;
- отношение сигнал/шум;
- коэффициент гармоник;
- уровни гармоник по пятую включительно;
- реальный динамический диапазон;
- число эффективных разрядов.

Отдельные усредненные результаты калибровки приводятся ниже, а так же в разделе «Технические данные» РП.

Динамические параметры платы ЛА-н10М6РСІ.

Ниже приводятся результаты калибровок платы ЛА-н10М6РСІ по основным динамическим параметрам в различных режимах. В таблицах и на графиках приведены зависимости этих параметров от входного калибровочного воздействия.

Приняты следующие условные обозначения:

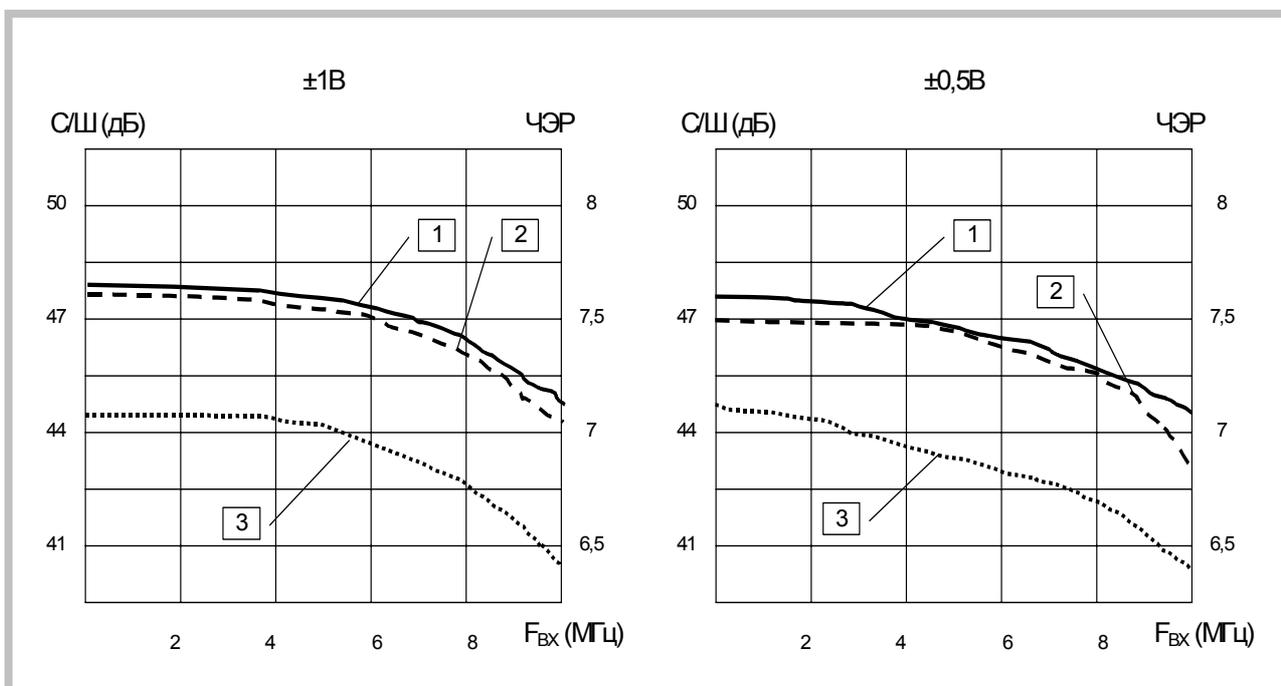
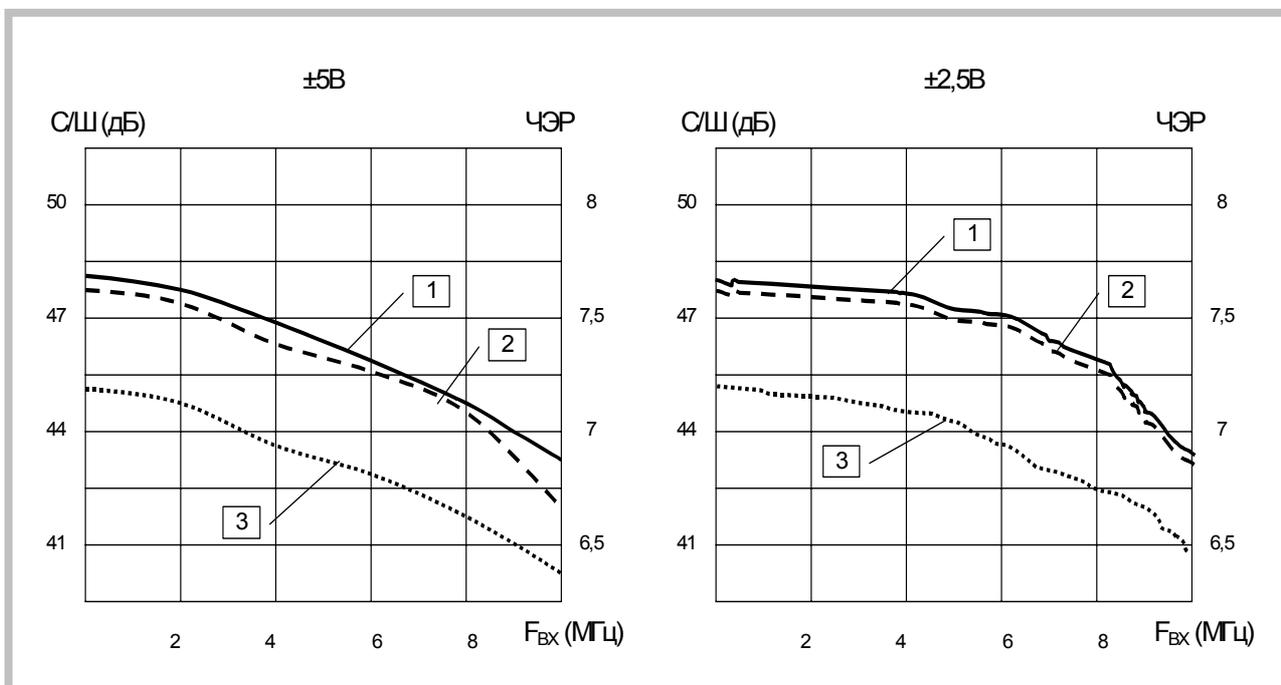
- Входная частота калибровочного сигнала - $F_{ВХ}$, (МГц),
- Частота запуска АЦП - $F_{АЦП}$ МГц,
- Отношение сигнал/шум - С/Ш (дБ),
- Коэффициент гармонических искажений - $K_{ГИ}$ (дБ),
- Число эффективных разрядов - ЧЭР,
- Реальный динамический диапазон – РДД (дБ).

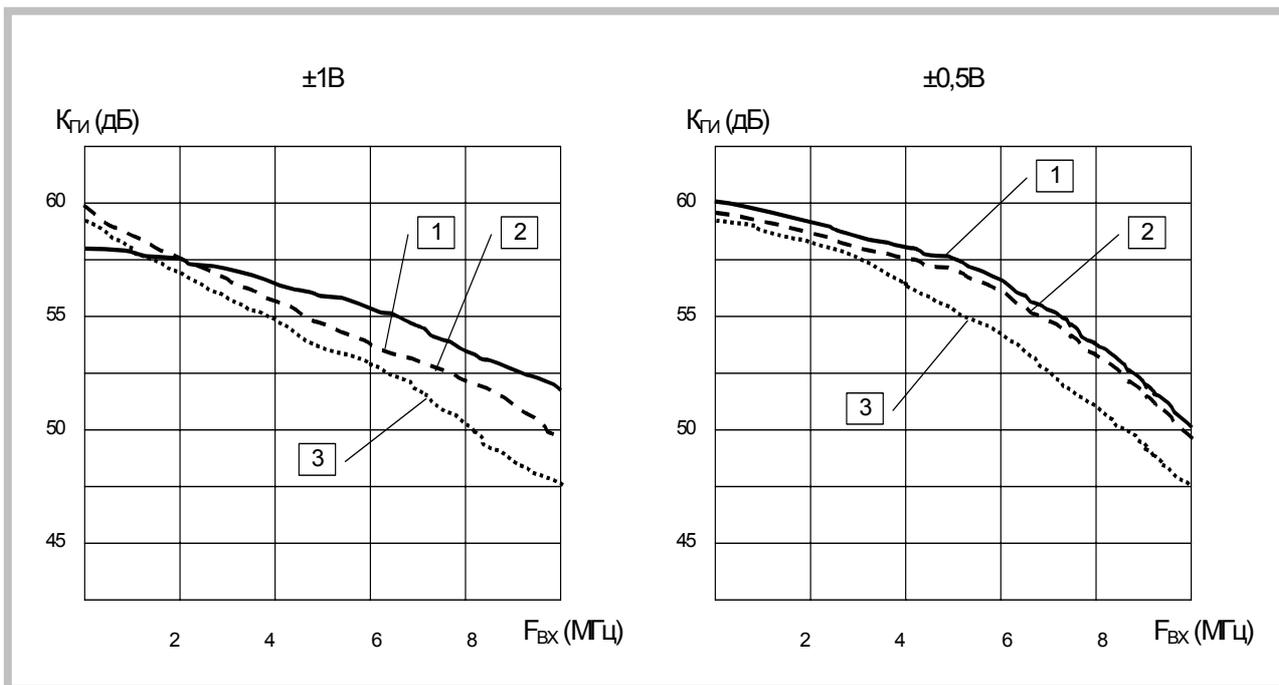
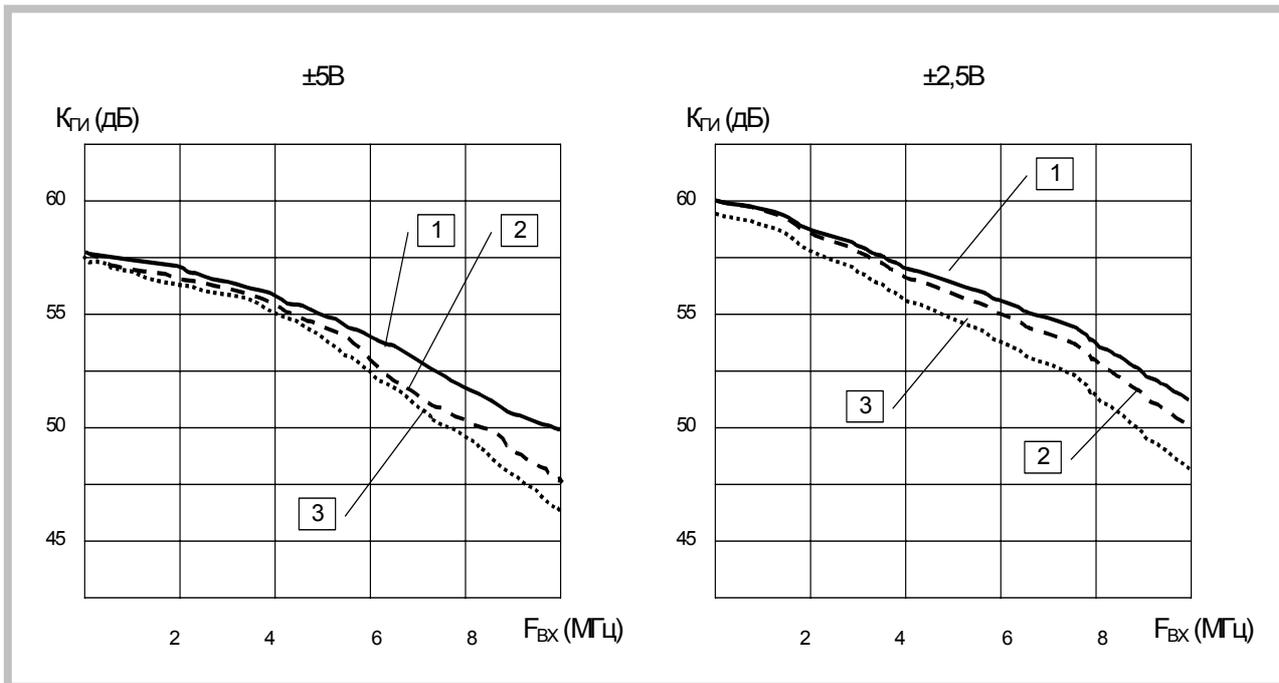
Графики зависимости основных динамических параметров от входной частоты и частоты запуска АЦП при различных коэффициентах усиления.

[1] – $F_{\text{АЦП}} = 12,5\text{МГц}$.

[2] – $F_{\text{АЦП}} = 50\text{МГц}$.

[3] – $F_{\text{АЦП}} = 100\text{МГц}$.





Проникание из канала в канал

Ниже приводятся результаты калибровок платы ЛА-н10М6РСІ на проникание из канала в канал (Таблица 12). На вход канала 0 подавался высокочастотный гармонический сигнал $F_{ВХ}$ амплитудой $U_{ВХ}$, на вход канала 1 подавался низкочастотный гармонический сигнал частотой 200кГц такой же амплитуды. Анализировался уровень проникания сигнала из канала 0 в канал 1.

Приняты следующие условные обозначения:

- Входная частота калибровочного сигнала - $F_{ВХ}$, (МГц),
- Частота запуска АЦП - $F_{АЦП}$ МГц.
- Амплитуда входного сигнала - $U_{ВХ}$ (В).

Таблица 12. Результаты калибровок платы ЛА-н10М6РСІ на проникание из канала в канал

$F_{АЦП}$ (МГц)	Уровень проникания (дБ), канал 1				$U_{ВХ}$
6,25	-65	-53	-48	-43	±4,95В
25	-63	-53	-47	-43	
50	-65	-53	-48	-44	
6,25	-	-	-60	-53	±2,45В
25	-	-	-59	-54	
5	-	-	-60	-54	
6,25	-	-	-65	-63	±0,95В
25	-	-	-63	-62	
50	-	-	-64	-62	
6,25	-	-64	-60	-56	±0,45В
25	-	-64	-59	-56	
50	-	-65	-60	-55	
$F_{ВХ}$ (МГц) 0 канал	1,2	5,2	9,8	17	

➤ *Примечание.*

Отсутствие данных в таблице означает, что при данных условиях уровень проникания ниже уровня шумов.

Статистика результатов данных, собранных с ЛА-н10М6РСІ при заземленном входе

- 1) Диапазон напряжений входного сигнала платы ЛА-н10М6РСІ $\pm 0,5В$. Частота запуска АЦП - 6,25 МГц. Число собранных отсчетов 128000 (Рисунок 7).

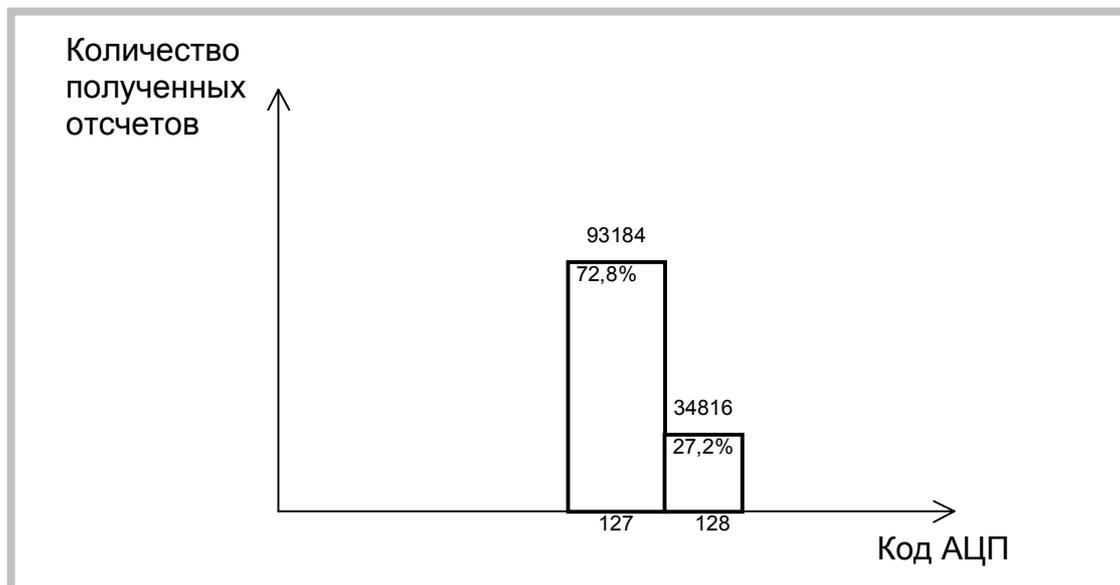


Рисунок 7. Статистика результатов данных 1

- 2) Диапазон напряжений входного сигнала платы ЛА-н10М6РСІ $\pm 1В$. Частота запуска АЦП - 6,25 МГц. Число собранных отсчетов 128000 (Рисунок 8).

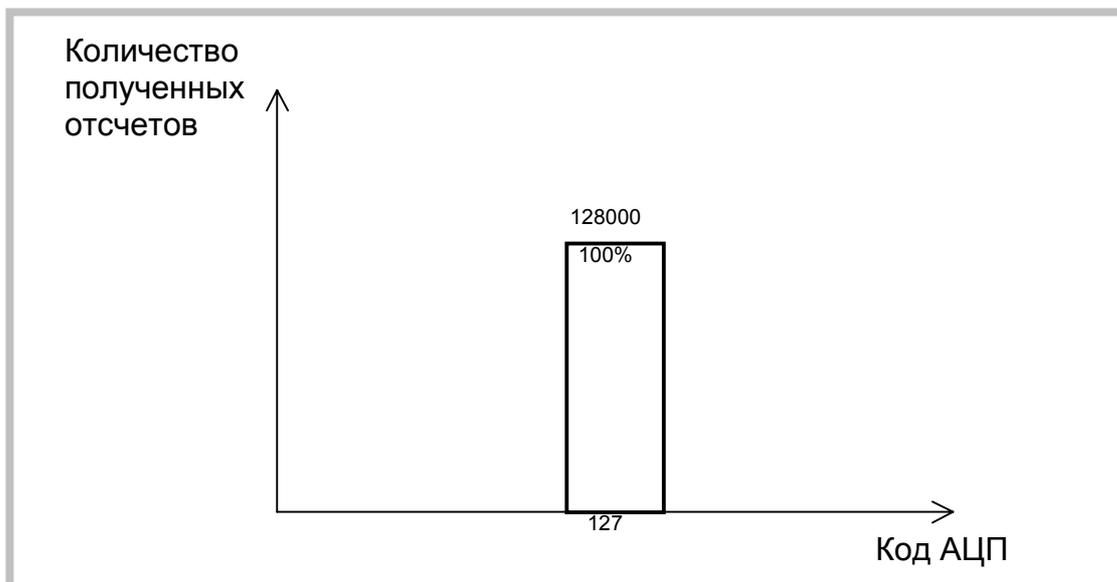


Рисунок 8. Статистика результатов данных 2

- 3) Диапазон напряжений входного сигнала платы ЛА-н10М6РСІ ±2,5В. Частота запуска АЦП - 6,25 МГц. Число собранных отсчетов 128000 (Рисунок 9).

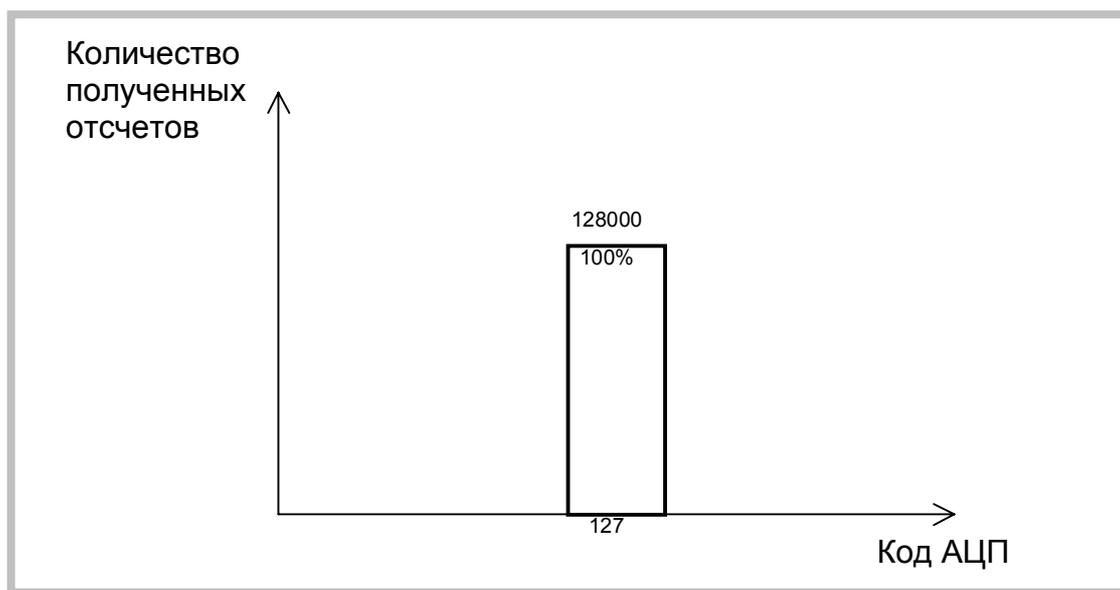


Рисунок 9. Статистика результатов данных 3

- 4) Диапазон напряжений входного сигнала платы ЛА-н10М6РСІ ±5В. Частота запуска АЦП - 6,25 МГц. Число собранных отсчетов 128000 (Рисунок 10).

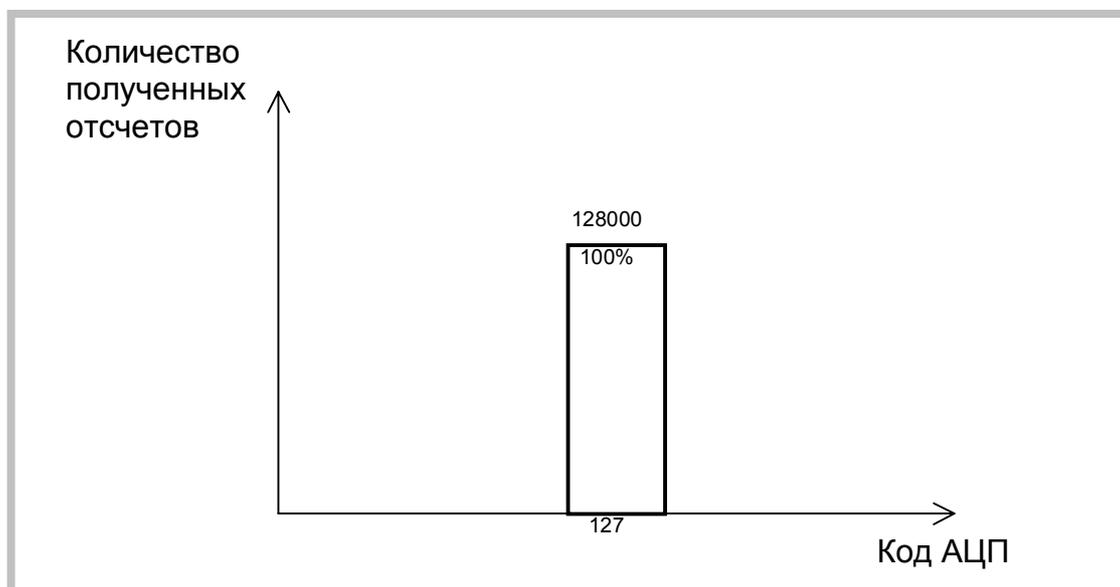


Рисунок 10. Статистика результатов данных 4

- 5) Диапазон напряжений входного сигнала платы ЛА-н10М6РСІ ±0,5В. Частота запуска АЦП - 50МГц. Число собранных отсчетов 128000 (Рисунок 11).

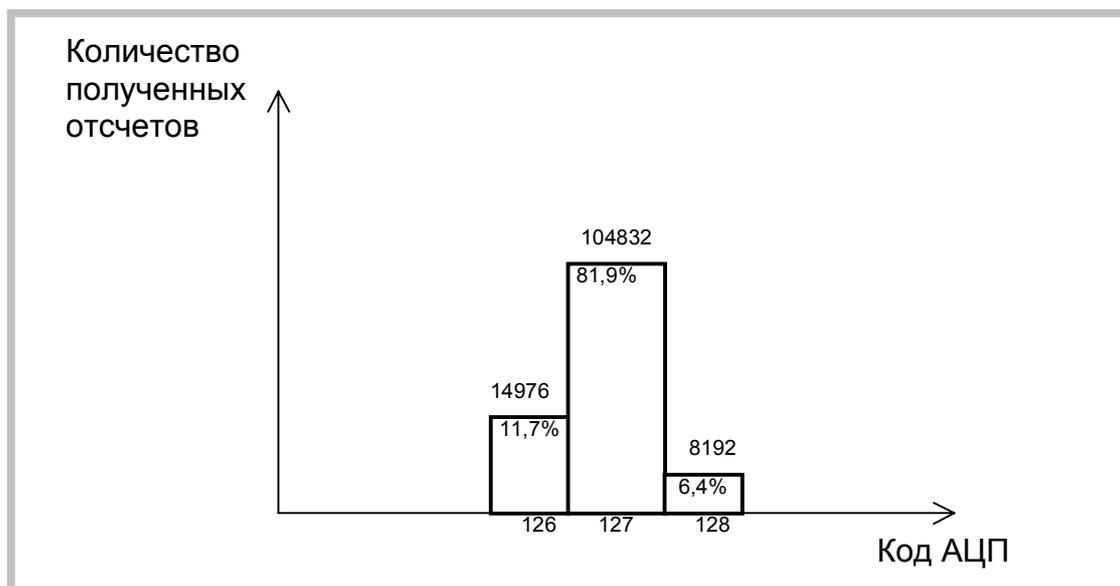


Рисунок 11. Статистика результатов данных 5

- 6) Диапазон напряжений входного сигнала платы ЛА-н10М6РСІ ±1В. Частота запуска АЦП - 50МГц. Число собранных отсчетов 128000 (Рисунок 12).

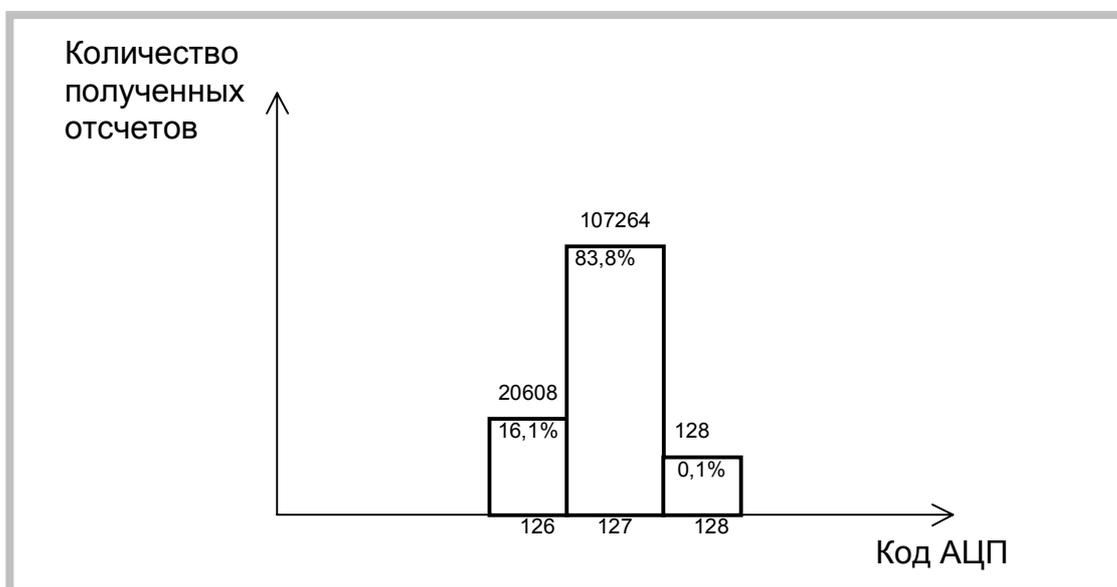


Рисунок 12. Статистика результатов данных 6

7) Диапазон напряжений входного сигнала платы ЛА-н10М6РСІ ±2,5В. Частота запуска АЦП - 50МГц. Число собранных отсчетов 128000 (Рисунок 13).

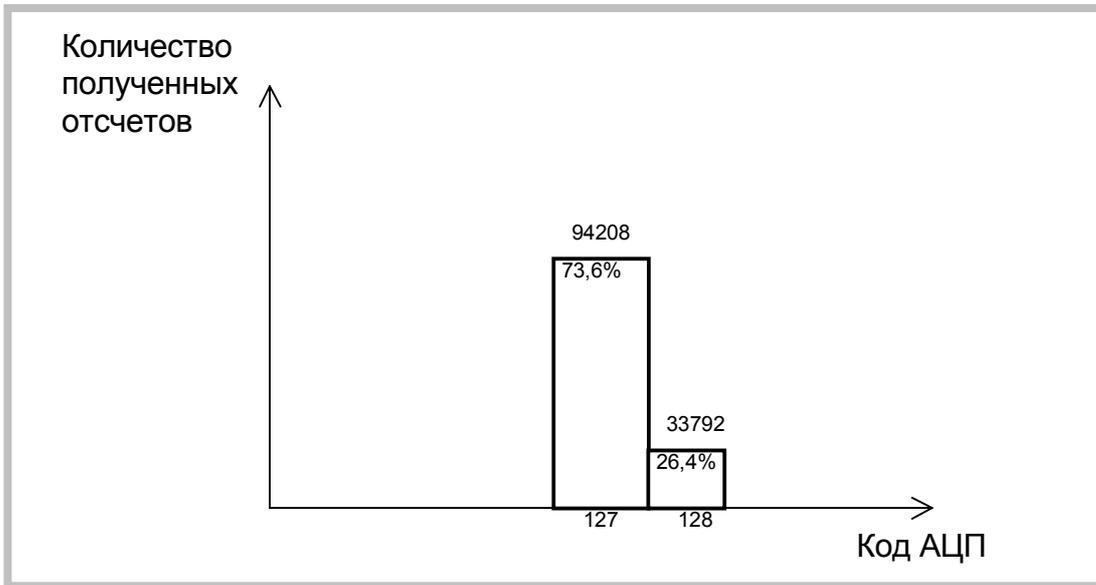


Рисунок 13. Статистика результатов данных 7

8) Диапазон напряжений входного сигнала платы ЛА-н10М6РСІ ±5В. Частота запуска АЦП - 50МГц. Число собранных отсчетов 128000 (Рисунок 14).

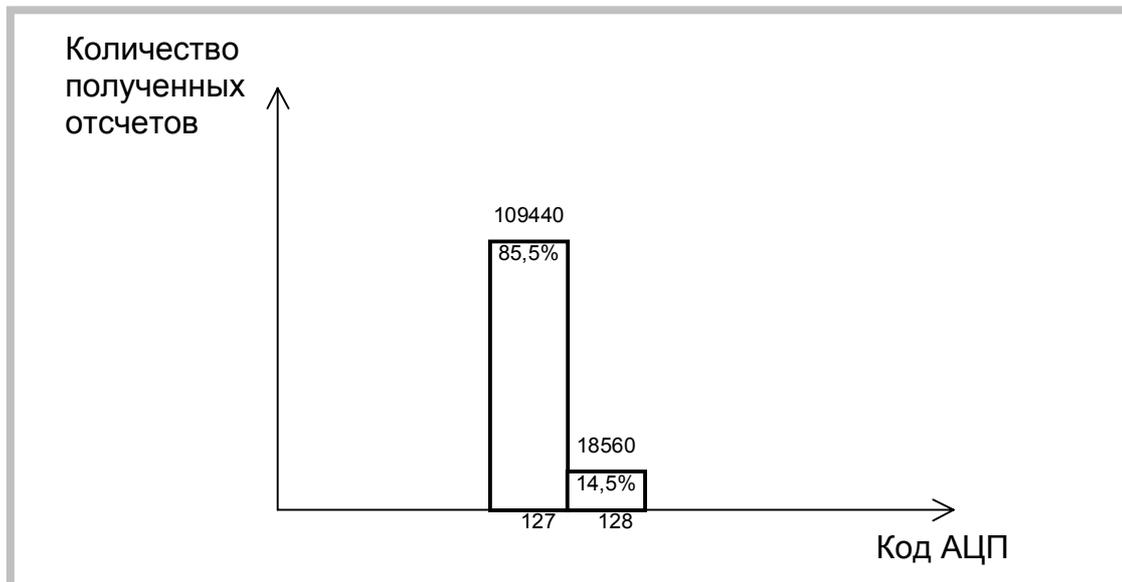


Рисунок 14. Статистика результатов данных 8

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. СТРОБОСКОП (ОПЦИЯ)

В режиме стробоскопа визуализация сигнала осуществляется в два этапа. Вначале определяется период исследуемого сигнала - T . Затем оцифровывается сигнал с частотой выборок равной

$$\text{частота выборок сигнала} = \frac{1}{NT + \Delta t},$$

где Δt – заданное разрешение, N – целое число.

В результате эквивалентная частота дискретизации будет равна $1/\Delta t$.

Таким образом, зная период сигнала T и разрешение Δt можно оцифровывать сигнал с гораздо большей частотой дискретизации, чем реальная (Рисунок 15).

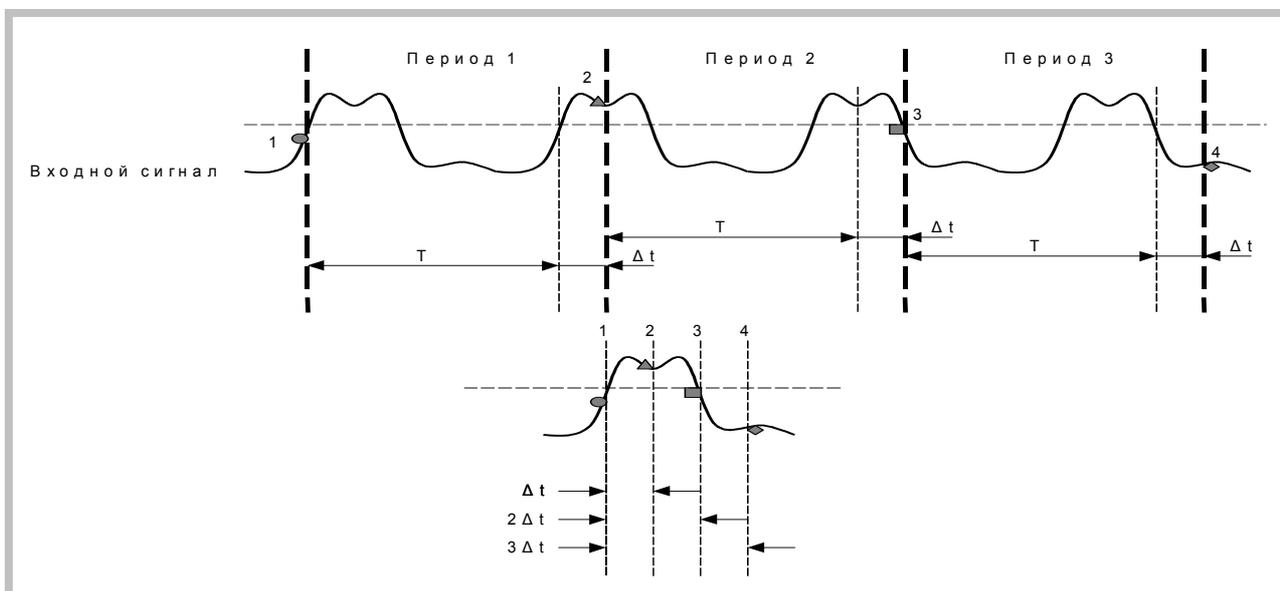


Рисунок 15. Работа стробоскопа при $N=1$

С помощью стробоскопа возможно получение эквивалентной частоты дискретизации более 1ГГц, что важно в тех случаях, когда для восстановления формы сигнала недостаточно меньшей частоты дискретизации. Стробоскоп работает только с периодическими сигналами. Точность восстановления формы сигнала зависит от стабильности частоты сигнала. Данный метод эффективно работает, даже если сигнал имеет сильные шумы и сложную форму.