

Семинар

ЗАО "Руднев-Шиляев"

Высокочастотные устройства



127994, г. Москва, ул. Сущёвская, д.21
метро Менделеевская, Новослободская
тел/факс: (495) 787-63-67, 787-63-68
e-mail: adc@rudshel.ru
сайт: www.rudshel.ru

Содержание

1. Общие данные высокочастотных плат	3
2. Блок-схема высокочастотных плат сбора данных (ПСД)	4
3. Таблица высокочастотных плат	5
4. Осциллографы Цифровые Запоминающие Специальные (ОЦЗС)	7
5. Параметры высокочастотных плат	11
5.1. Параметры ЛА-н4USB	11
5.2. Параметры ЛА-н1PCI	13
5.3. Параметры ЛА-н1USB	15
6. Особенности применения высокочастотных АЦП	17

1. Общие данные высокочастотных плат

Разделение плат на высокочастотные и низкочастотные достаточно условно. К высокочастотным платам мы отнесли все изделия которые имеют частоту преобразования АЦП более 10 МГц.

Тем не менее, высокочастотные платы значительно отличаются от низкочастотных.

Для того, чтобы высокочастотная плата собирала данные без потерь, необходима высокая долговременная пропускная способность шины компьютера. Максимальная пропускная способность большинства доступных интерфейсов: USB, PCI, ISA, Ethernet недостаточна для непрерывной передачи данных. Кроме того, компьютер помимо передачи данных из АЦП, может заниматься другими задачами. Потери данных в этом случае неизбежны. Поэтому в высокочастотных платах, как правило, применяют внутреннюю память.

Большинство выпускаемых нами высокочастотных плат имеет память больше 1Мб, например, плата ЛА-н4USB, ЛА-н10USB имеют 2 МБ ОЗУ, плата ЛА-н1USB, ЛА-н1PCI – 8 МБ ОЗУ.

На входе АЦП применяются широкополосные усилители, аттенуаторы и фильтры.

ПЛИС, процессоры, память так же необходимы для функционирования высокочастотной платы, но все эти элементы вносят дополнительные помехи в аналого-цифровой тракт.

Поэтому для достижения хороших характеристик, необходима долгая и кропотливая работа по выбору элементной базы и проектированию печатной платы. Конечный результат зависит не только от выбранной схемотехники, но и от размещения элементов на печатной плате, и во многом от самой печатной платы. Материал для изготовления печатной платы, число слоев, расстояние между ними — все это непосредственно влияет на конечные характеристики разрабатываемого устройства. Огромное значение имеет качество источников питания и способ подсоединения земляных и питающих шин. Для минимизации влияния цифровой схемы на аналоговый канал во многих случаях приходится экранировать высокочастотные и высокоимпедансные узлы.

В отличие от низкочастотных плат, высокочастотные более чувствительны к качеству тактового генератора. Поэтому при проектировании высокочастотных плат мы много времени уделяем тактовому генератору.

Рассмотрим производство конкретного изделия поэтапно.

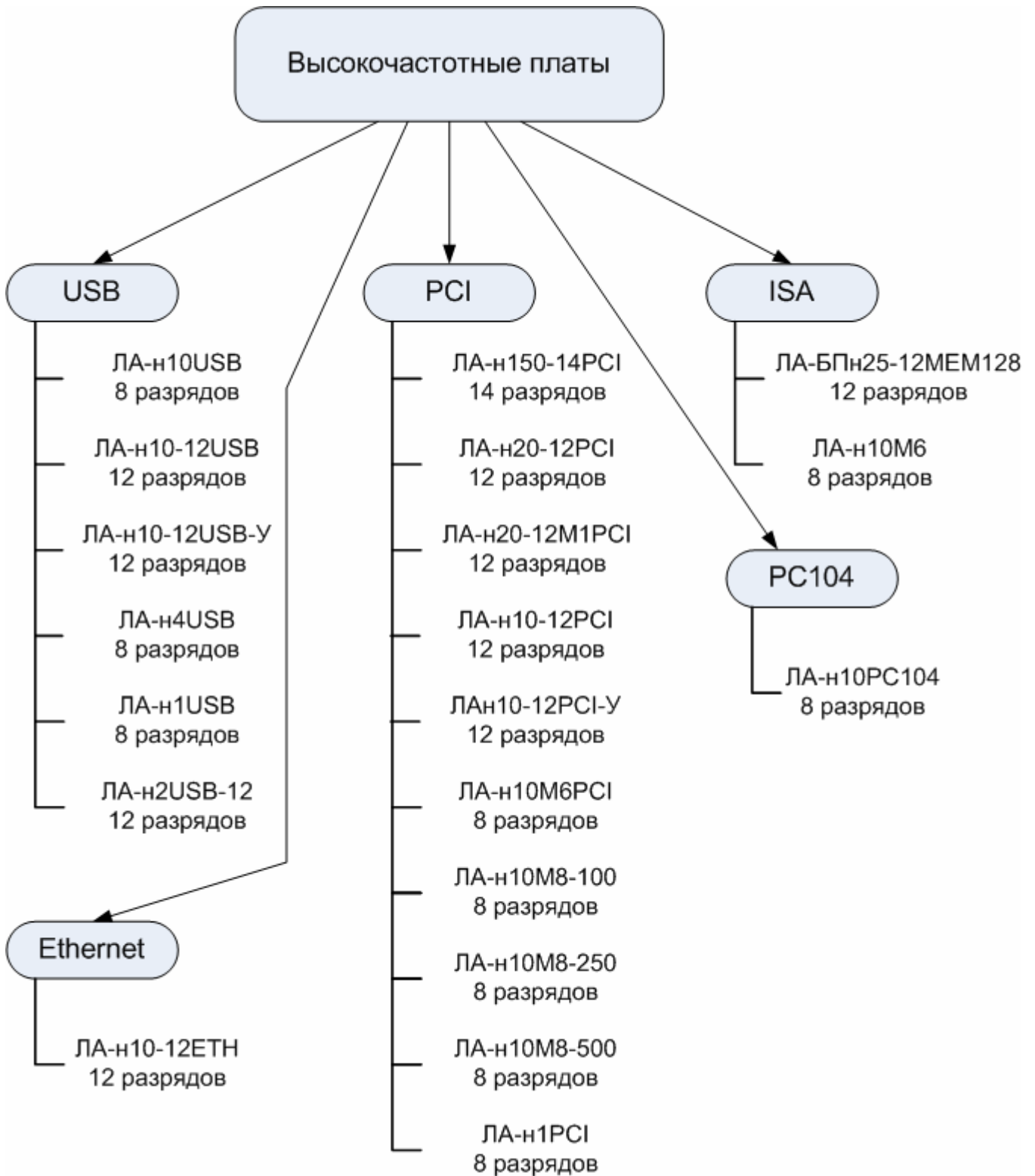
Сначала обсуждается техническое задание. ТЗ формируется на основании требований наших заказчиков и пожеланий отдела маркетинга. Затем разработчик выбирает элементную базу, разрабатывает функциональную и принципиальную электрическую схему требуемого устройства. Далее начинается проектирование топологии печатной платы и разработка внутренней структуры программируемых интегральных схем. На этом этапе возможно изменение электрической схемы, то есть этот процесс итерационный. После изготовления опытного образца, ведутся работы по тестированию готового изделия. На этом этапе выявляются и исправляются ошибки, корректируется принципиальная схема, исправляется топология. Работа над устройством ведется до тех пор, пока оно не станет отвечать всем требованиям технического задания.

Наиболее частые задачи, где необходимо иметь высокочастотную плату – это задачи прямого преобразования промежуточных частот различных источников в диапазоне до 1 ГГц. Многие наши изделия используются для того, чтобы преобразовать сигнал, получить в компьютере данные и посмотреть спектральные характеристики промежуточной частоты.

Довольно часто встречаются задачи, связанные с вычислением скоростей, движущихся объектов. Здесь, как правило, нужно иметь 2 канала – прямой и квадратурный. Затем делать вычисления с помощью процессора. У нас есть изделия, которые включают в себя процессор для реализации этих функций.

Высокочастотные платы применяются во многих системах, наших Заказчиков. Без высокочастотных сигналов не обойтись в таких приборах, как осциллографы. Они также бывают низкочастотные и высокочастотные. Но последнее время требуются всё более высокочастотные осциллографы.

2. Блок-схема высокочастотных плат сбора данных (ПСД)



3. Таблица высокочастотных плат

Как пользоваться таблицей для выбора измерительного устройства

Воспользуйтесь нижеследующей таблицей, чтобы выбрать, какое устройство ЗАО «Руднев-Шиляев» Вам наиболее подходит для измерения.

Таблица даёт возможность пошагово выбрать плату, которая Вам подходит по характеристикам.

В таблице для выбора высокочастотных плат представлены следующие столбцы:

1. Частота дискретизации
2. Разрядность АЦП
3. Количество входных аналоговых каналов
4. Диапазон входного сигнала
5. Полоса сигнала
6. Частота стробоскопа (если есть)
7. Интерфейс устройства

Слово «Шаг» означает, что Вы последовательно, переходя от одного столбца к другому, выбираете плату при этом сужается диапазон устройств, и Вы находите плату, удовлетворяющую Вашим требованиям.

Можно ускорить процесс поиска платы, если Вы знаете наиболее критичный для вас параметр. Необходимо выбрать этот параметр в шапке таблицы, и после этого посмотреть, какая группа приборов с этим параметром существует в нашей таблице.

Как правильно выбрать частоту дискретизации (F_d) устройства? Для анализа во временной области F_d должна быть в 7-10 раз больше $F_{вх}$. Для анализа в частотной области F_d должна быть в 2 раза выше полосы анализа исследуемого сигнала на основании теоремы Котельникова.

Передвигаться по значениям можно в любом направлении, просматривая внимательно каждый столбец, возможно, что необходимое Вам устройство ЗАО «Руднев-Шиляев» будет находиться в смежных строках.

Таблица для выбора измерительного устройства (высокочастотные платы)

Шаг 1. Выберите максимальную частоту дискретизации	Шаг 2. Выберите разрядность АЦП	Шаг 3. Сколько входных аналоговых каналов Вам необходимо?	Шаг 4. Выберите диапазон входного сигнала	Шаг 5. Входное сопротивление (импеданс)	Шаг 6. Синхронизация (запуск)	Шаг 7. Буферная память	Шаг 8. Полоса сигнала	Шаг 9. Частота стробоскопа (если есть)	Шаг 10. Интерфейс устройства	Для Вашей задачи мы предлагаем следующую плату
2 ГГц	8	1 канал	от ±0,125В до ±25В	1 МОм, 17пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм, 50 Ом	ОЗУ 8 Мбайт	100 МГц	нет	USB	ЛА-н1USB
			от ±0,125В до ±1,25В	50 Ом		ОЗУ 8 Мбайт	300 МГц			ЛА-н1USB
1 ГГц	8	2 синхр. канала	от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм, 50 Ом	ОЗУ 8 Мбайт	100 МГц	нет	USB	ЛА-н1USB
			от ±0,125В до ±1,25В	50 Ом		ОЗУ 8 Мбайт	300 МГц	нет	USB	ЛА-н1USB
		1 канал	от ±0,5В до ±5В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм. ФНЧ, ФВЧ	ОЗУ 8 Мбайт	100 МГц	10 ГГц	PCI	ЛА-н1PCI
			от ±0,25В до ±2В	50 Ом		ОЗУ 8 Мбайт	300 МГц	10 ГГц	PCI	ЛА-н1PCI
500 МГц	8	1 канал	от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм. ФНЧ, ФВЧ	ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц	1 ГГц	USB	ЛА-н4USB
			от ±0,5В до ±5В	1 МОм		ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц	1 ГГц	PCI	ЛА-н10М8-500
			от ±0,2В до ±2,5В	50 Ом			180 МГц			ЛА-н10М8-500
	12	2 канала	от ±0,125В до ±1,25В	50 Ом	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, ФНЧ, ФВЧ	ОЗУ 8 Мбайт	300 МГц	нет	USB	ЛА-н2USB-12
250 МГц	8	2 синхр. канала	от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм. ФНЧ, ФВЧ	ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц	1 ГГц	USB	ЛА-н4USB
			от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ		ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц	1 ГГц	PCI	ЛА-н10М8-250
100 МГц	8	1 канал	от ±0,25В до ±1В	1МОм	внутр.	ОЗУ 512 кбайт	50 МГц	нет	PC/104	ЛА-н10PC104
			от ±0,5В до ±5В	1МОм, 30 пФ	внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 256 кСлов	50 МГц	нет	PCI	ЛА-н10М6PCI
			от ±0,5В до ±5В	1МОм	внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 256 кСлов	50 МГц	нет	ISA	ЛА-н10М6
		2 синхр. канала	от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ	внутр., внешн.: ±5В, ±0,5В, 1 МОм. ФНЧ, ФВЧ	ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц	1 ГГц	PCI	ЛА-н10М8-100
				1МОм, 17 пФ		внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 2 Мбайт	100 МГц	1 ГГц	USB
		12	2 синхр. канала	от ±0,125В до ±25В	1МОм, 17 пФ	внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 2 МСлова	35 МГц	нет	Ethernet
	от ±0,2В до ±2В			50 Ом	внутр. или внешн. ±5В		ОЗУ 2 МСлова	35 МГц	нет	USB
от ±0,2В до ±2В	50 Ом			внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 2 МСлова		35 МГц	нет	PCI	ЛА-н10-12PCI-У
80 МГц	12	2 синхр. канала	от ±0,2В до ±2В	50 Ом	внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 1 МСлово	35 МГц	нет	USB	ЛА-н10-12USB
			от ±0,2В до ±2В	50 Ом			внутр. или внешн. ±5В	35 МГц	нет	PCI
50 МГц	8	2 синхр. канала	от ±0,5В до ±5В	1МОм, 30 пФ	внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 256 кСлов	50 МГц	нет	PCI	ЛА-н10М6PCI
			от ±0,5В до ±5В	1МОм						внутр. или внешн. ±5В
	12	2 синхр. канала	от ±0,2В до ±2В	50 Ом	внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 256 кСлов	30 МГц	нет	PCI	ЛА-н20-12PCI
			от ±0,2В до ±2В	1 МОм, 30 пФ						внутр. или внешн. ±5В
40 МГц	12	16 однополюсн.	±1В	1 МОм	внутр. или внешн. ±5В	ОЗУ 64 МСлов	20 МГц	нет	ISA	ЛА-БПн25-12MEM128

4. Осциллографы Цифровые Запоминающие Специальные (ОЦЗС)

Осциллограф цифровой запоминающий специальный (ОЦЗС) — это измерительный прибор, с помощью которого можно анализировать форму сигнала.

ОЦЗС предназначен для наблюдения и измерения временных и амплитудных параметров, регистрации как случайных (однократных), так и периодических сигналов.

На рисунке представлен сертификат на ОЦЗС-01.



Наши платы сбора данных мы вставляем в компьютер, и используем собственное программное обеспечение. Так потребителю удобнее и понятнее.

Для примера хотелось бы отметить, что другие производители используют обратный путь: они берут устройства и в него вставляют компьютер. Возможности такого компьютера, естественно, ограничены.

Среди особенностей ОЦЗС можно выделить:

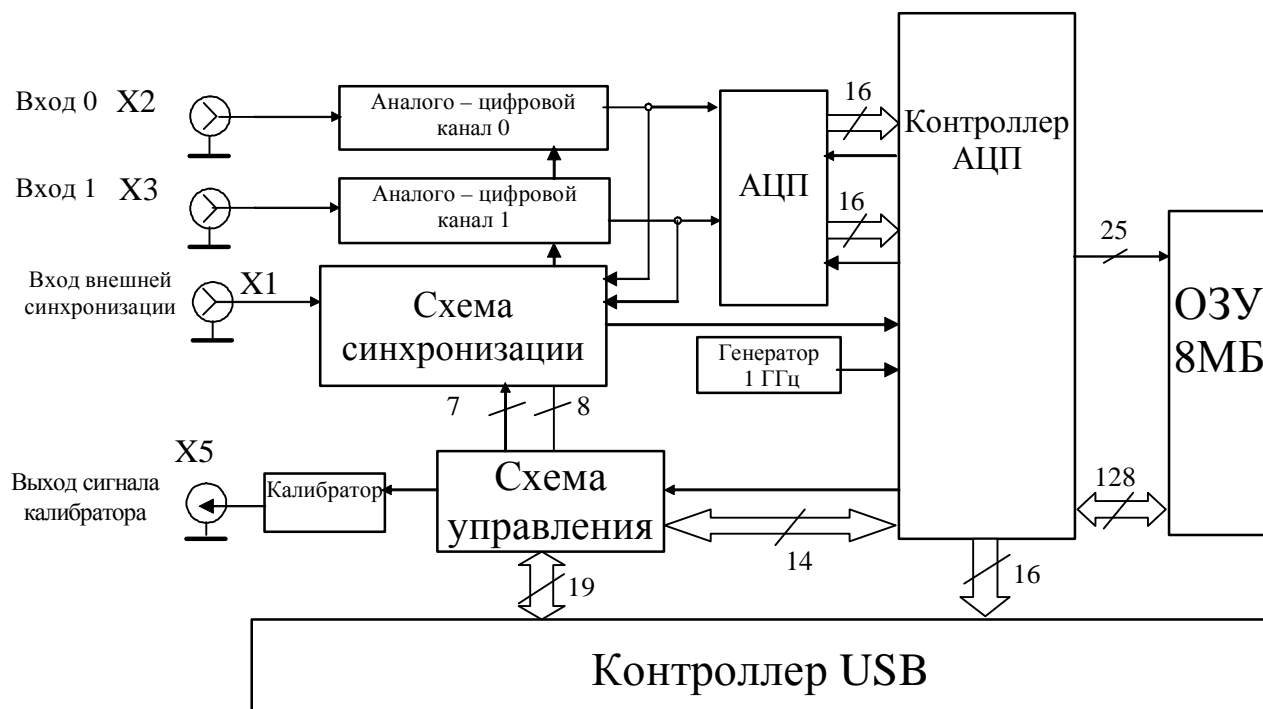
- Возможность просматривать записанный сигнал на экране и проводить маркерные измерения основных параметров сигнала: амплитуду, длительность, частоту.

- Возможность увеличить интересующую часть сигнала, так называемый режим Лупы.

- Наличие предыстории – можно просмотреть ту часть сигнала, которая предшествовала синхриимпульсу. Размер предыстории можно варьировать от 0 Мб до максимального размера ОЗУ, установленного на плате.

- Возможность проведения спектрального анализа. К каждому осциллографу поставляется специальное ПО, в котором есть функция спектроанализатора.

Рассмотрим структурную схему осциллографа ЛА-н1USB.



Это характерная структурная схема для всех высокочастотных изделий ЗАО «Руднев-Шияев». Эта схема одной из наших последних разработок – ЛА-н1USB.

Устройство ЛА-н1USB содержит следующие функциональные основные узлы: аналого-цифровой канал (АЦК); контроллер АЦП; схему синхронизации; внутреннее оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и интерфейс шины USB.

На платах установлено циклическое внутреннее ОЗУ объемом до 8 МБ. Объем используемого ОЗУ может быть программно уменьшен до 1 кбайта. Порядок работы ОЗУ следующий: как только поступает команда пуска преобразования, данные с АЦП непрерывно записываются в выбранную часть ОЗУ, которая называется предыстория. Пока выбранный объем предыстории не заполнен, синхроимпульсы блокируются и не обрабатываются. При появлении синхроимпульса записывается оставшаяся часть ОЗУ, которая называется история. После этого данные каждого канала могут быть считаны в компьютер.

Осциллограф служит для визуализации данных, анализа его форм и особенностей. А также сравнения двух и более сигналов одновременно на экране визуальными средствами. Обычно аналоговые осциллографы обеспечивают точность не выше 6-ти разрядов. Эта точность определяется толщиной линии на экране.

Широкое распространение АЦП не выше 8-ми разрядов при достаточно низкой цене позволяет реализовать цифровые запоминающие осциллографы с применением этих АЦП. Эти АЦП имеют полосу вплоть до половины собственной частоты преобразования и число эффективных разрядов не менее семи. Что обеспечивает точность не хуже 0,8%. Представленные на рынке 12-ти разрядные АЦП имеют число эффективных разрядов (ЧЭР) редко более 9-9,5 в аналогичной полосе частот относительно 8-разрядных АЦП. Но имеют большую стоимость.

Кроме того, 8-разрядные АЦП имеют удобное представление для передачи по шине данных. Они укладываются в 1 байт в отличие от 12-ти разрядов, для которых нужно 1,5 байта.

Поэтому мы для своих осциллографов применяем 8-разрядные АЦП, что позволяет при меньшей стоимости затрат для наших заказчиков обеспечить те же качественные характеристики конечного измерительного изделия.

Применение ОЦЗС

Прибор используется в различных областях. Это ремонт аппаратуры, настройка, наладка, научные эксперименты, широкополосный радио мониторинг, радиолокация, системы анализа высокочастотных сигналов, в связи - для контроля радио обстановки одновременно в нескольких диапазонах без необходимости переключения между ними, в ядерной физике - системы регистрации траекторий элементарных частиц, в локации - для определения направления на источник излучения, анализ взрывных процессов.

Наши осциллографы сделаны на базе устройств с интерфейсами ISA/PCI/USB. Так, например первый осциллограф ОЦЗС- 01 ISA сделан на базе платы ЛА-н10М6, ОЦЗС-02(250PCI) сделан на базе платы ЛА-н10М8-250, и ОЦЗС-02(1000USB) – на базе платы ЛА-н1USB.

На базе устройства ЛА-н4USB, которое заслуженно пользуется популярностью у наших заказчиков, и нового устройства ЛА-н1USB разработан цифровой запоминающий осциллограф в составе компьютерного АТХ (микро АТХ) корпуса. Одно или несколько устройств ЛА-н4USB или ЛА-н1USB устанавливается в стандартные пятидюймовые отсеки. Коммутация питания и USB интерфейса осуществляется внутри корпуса. По желанию заказчика осциллограф может комплектоваться нашим генератором произвольной формы ГСПФ-052, который также располагается внутри корпуса и использует PCI шину. Производительность компьютера и состав комплектующих можно выбрать самостоятельно или воспользоваться нашим базовым вариантом. Заказчику не нужно устанавливать ПО. Все вопросы по установке программного обеспечения, охлаждению и тестированию комплекса на совместимость компонентов мы берем на себя.

В этом случае заказчик получает готовое к работе устройство.

Для того, чтобы вам было легче ориентироваться среди многообразия осциллографов – мы создали специальную таблицу «Таблицы ОЦЗС», которая представлена ниже.

Эта таблица создана специально для выбора осциллографа.

Отметим основные факторы, которые влияют на класс прибора и соответственно на цену.

В первую очередь необходимо обратить внимание на частоту дискретизации. Это та частота, с которой делаются выборки аналогового сигнала и записываются в память. Чтобы выбрать правильно

частоту дискретизации, нужно оценить с какими входными сигналами вы собираетесь работать. Например, чтобы качественно посмотреть форму сигнала, частоту дискретизации желательно иметь в 7-10 раз выше исследуемого сигнала. Если вы работаете в частотной области, то частота дискретизации должна быть в два раза выше полосы анализа.

Максимальная частота исследуемого сигнала не должна превышать полосу входного сигнала осциллографа.

Следующим важным параметром является объём оперативной памяти.

Таблица ОЦЗС (осциллографы цифровые запоминающие специальные)

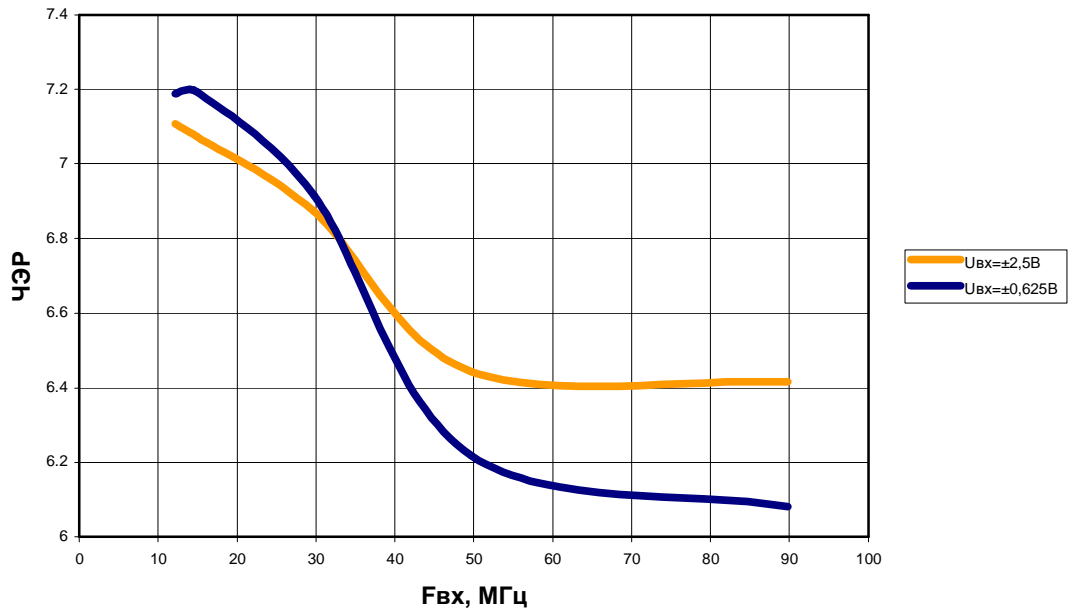
Наименование ОЦЗС	Базовое устройство	Максимальная частота дискретизации, МГц		Количество входных каналов		Максимальный объём ОЗУ	Полоса входного сигнала, МГц		Чувствительность, В/дел		Стробоскоп	Входит ли в состав офисный компьютер	Цена, руб
		Нормальный режим	Режим удвоения частоты	Нормальный режим	Режим удвоения частоты		при Rвх 1 МОм	при Rвх 50 Ом	при Rвх 1 МОм	при Rвх 50 Ом			
ОЦЗС-01 (ISA)	ЛА-н10М6	50	100	2	1	256 кБ	50	—	0,1÷1	—	нет	нет	19 900
ОЦЗС-01 (PCI)	ЛА-н10М6	50	100	2	1	256 кБ	50	—	0,1÷1	—	нет	нет	19 200
ОЦЗС-02 (USB)	ЛА-н10USB	100	—	2	—	2 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	нет	23 500
ОЦЗС-02 (PCI)	ЛА-н10М8-100	100	—	2	—	2 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	нет	23 500
ОЦЗС-02 (100PCI)-2	ЛА-н10М8-100	100	—	2	—	2 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	да	39 500
ОЦЗС-02 (100PCI)-4	ЛА-н10М8-100	100	—	4	—	4 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	да	59 500
ОЦЗС-02 (100PCI)-6	ЛА-н10М8-100	100	—	6	—	6 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	да	79 500
ОЦЗС-02 (100PCI)-8	ЛА-н10М8-100	100	—	8	—	8 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	да	99 500
ОЦЗС-02 (250USB)	ЛА-н4USB	250	500	2	1	2 МБ	100	—	0,025÷5	—	5 ГГц	нет	31 000
ОЦЗС-02 (250USB)-2	ЛА-н4USB	250	500	2	1	2 МБ	100	—	0,025÷5	—	5 ГГц	да	47 000
ОЦЗС-02 (250USB)-4	ЛА-н4USB	250	500	4	2	4 МБ	100	—	0,025÷5	—	5 ГГц	да	77 000
ОЦЗС-02 (250USB)-6	ЛА-н4USB	250	500	6	3	6 МБ	100	—	0,025÷5	—	5 ГГц	да	107 000
ОЦЗС-02 (250USB)-8	ЛА-н4USB	250	500	8	4	8 МБ	100	—	0,025÷5	—	5 ГГц	да	137 000
ОЦЗС-02 (250PCI)	ЛА-н10М8-250	250	500	2	1	2 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	нет	32 500
ОЦЗС-02 (250PCI)-2	ЛА-н10М8-250	250	500	2	1	2 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	да	49 500
ОЦЗС-02 (250PCI)-4	ЛА-н10М8-250	250	500	4	2	4 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	да	79 500
ОЦЗС-02 (250PCI)-6	ЛА-н10М8-250	250	500	6	3	6 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	да	109 500
ОЦЗС-02 (250PCI)-8	ЛА-н10М8-250	250	500	8	4	8 МБ	100	—	0,025÷5	—	1 ГГц	да	139 500
ОЦЗС-02 (1000USB)	ЛА-н1USB	1000	2000	2	1	8 МБ	100	300	0,025÷5	0,025÷0,25	нет	нет	80 000
ОЦЗС-02 (1000USB)-2	ЛА-н1USB	1000	2000	2	1	8 МБ	100	300	0,025÷5	0,025÷0,25	нет	да	96 000
ОЦЗС-02 (1000USB)-4	ЛА-н1USB	1000	2000	4	2	16 МБ	100	300	0,025÷5	0,025÷0,25	нет	да	176 000
ОЦЗС-02 (1000USB)-6	ЛА-н1USB	1000	2000	6	3	24 МБ	100	300	0,025÷5	0,025÷0,25	нет	да	256 000
ОЦЗС-02 (1000USB)-8	ЛА-н1USB	1000	2000	8	4	32 МБ	100	300	0,025÷5	0,025÷0,25	нет	да	336 000

В комплект поставки всех осциллографов входят щупы ЛА-НР9100 (1:1; 1:10; Земля). Возможна поставка щупов ЛА-100 (1:100; Земля). Количество щупов в комплекте соответствует количеству входных каналов. В состав офисного компьютера входит системный блок (ОЗУ 512 Мбайт, HDD 80 Гбайт, процессор Intel 1,7 ГГц, CDROM), клавиатура и мышь (изменение комплектации возможно по желанию заказчика). На жёстком диске установлена лицензионная версия операционной системы Windows XP и специализированное программное обеспечение: ADCLab – осциллограф спектроанализатор, Saver – самописец, Viewer – программа просмотра бинарных данных в виде графика и Converter- программа конвертации бинарных данных в текстовый вид (*.txt, *.CSV)

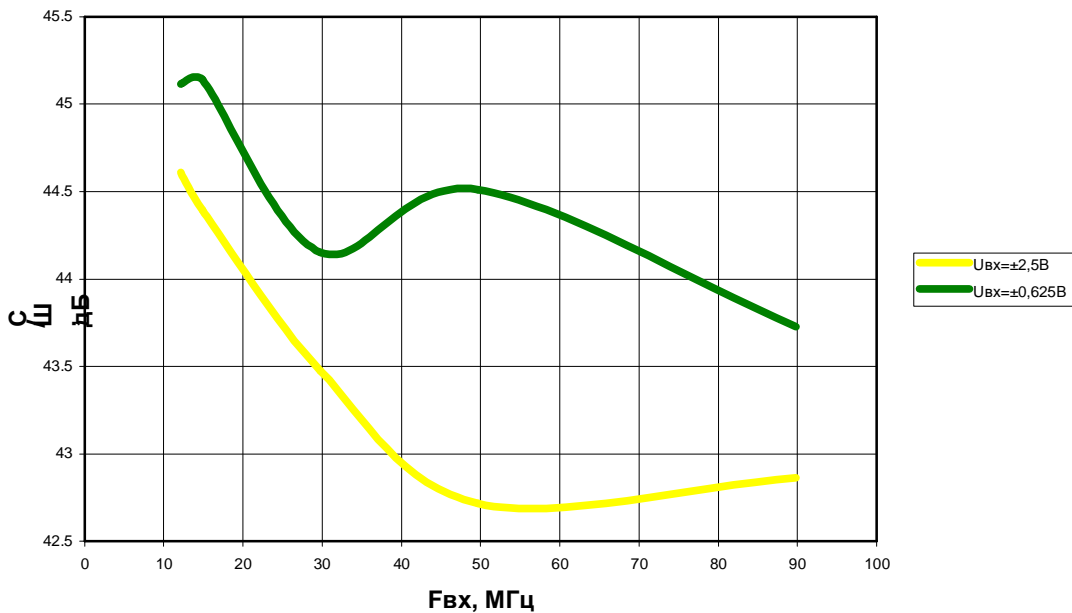
5. Параметры высоочастотных плат

5.1. Параметры ЛА-н4USB

ЛА-н4USB, Fd=250МГц



ЛА-н4USB, Fd=250МГц



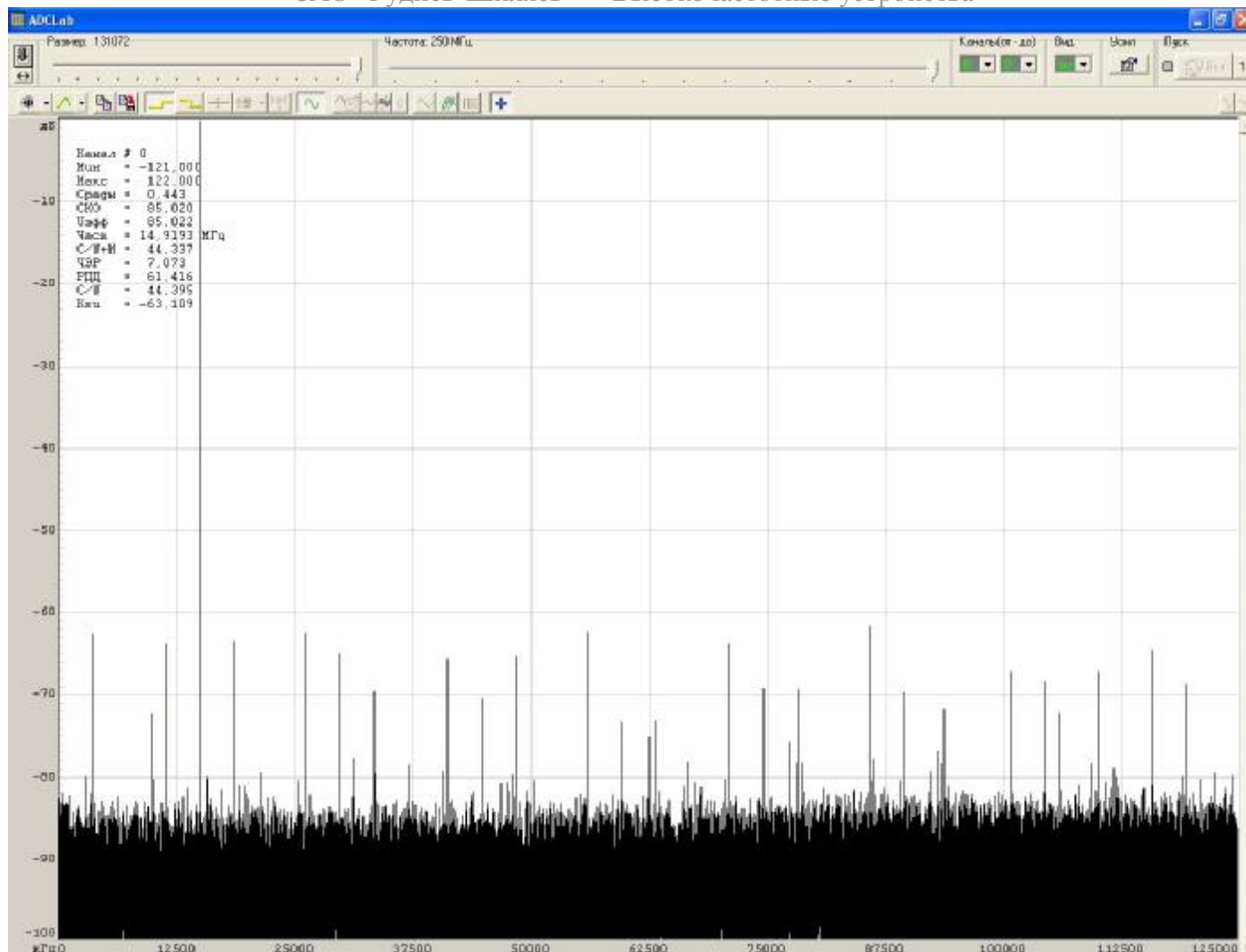
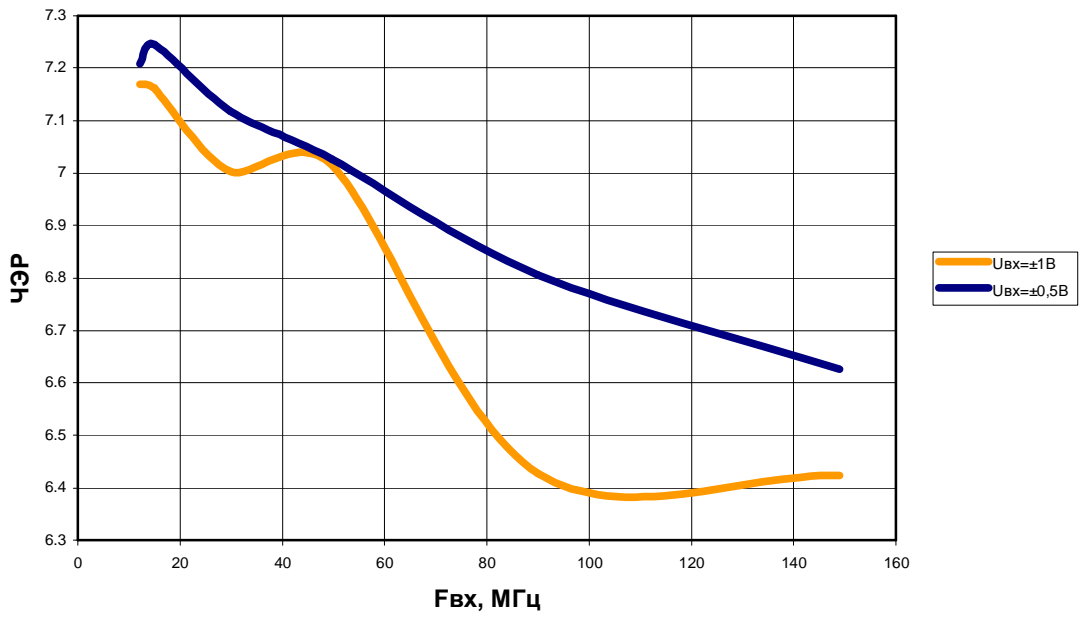


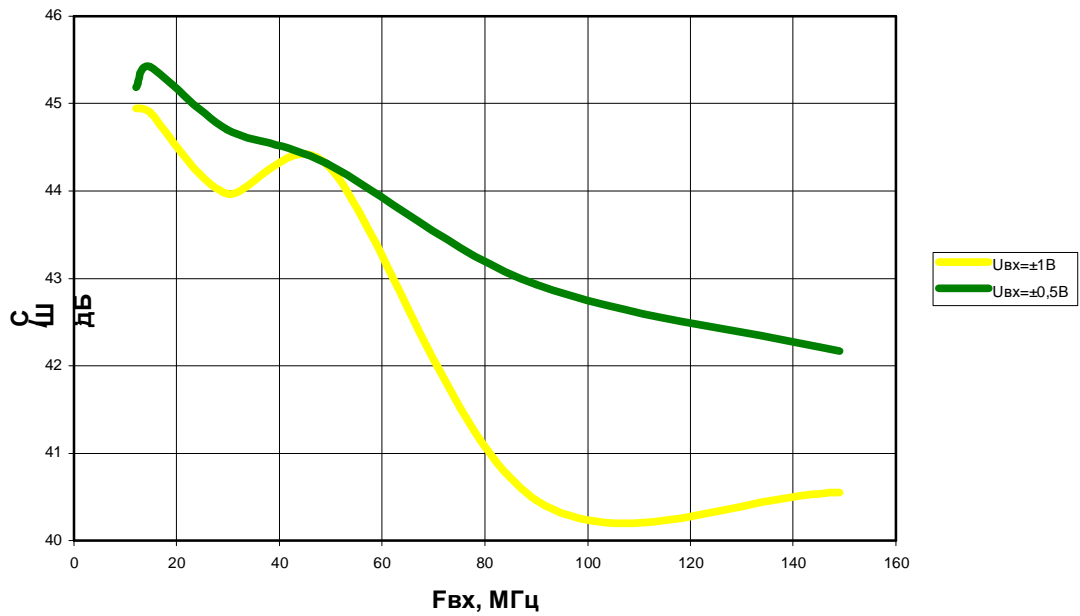
Рис. 5.1. Спектр сигнала при частоте 15 МГц и $K_{ус}=10$

5.2. Параметры ЛА-н1РСІ

ЛА-н1РСІ, Fd=1ГГц



ЛА-н1РСІ, Fd=1ГГц



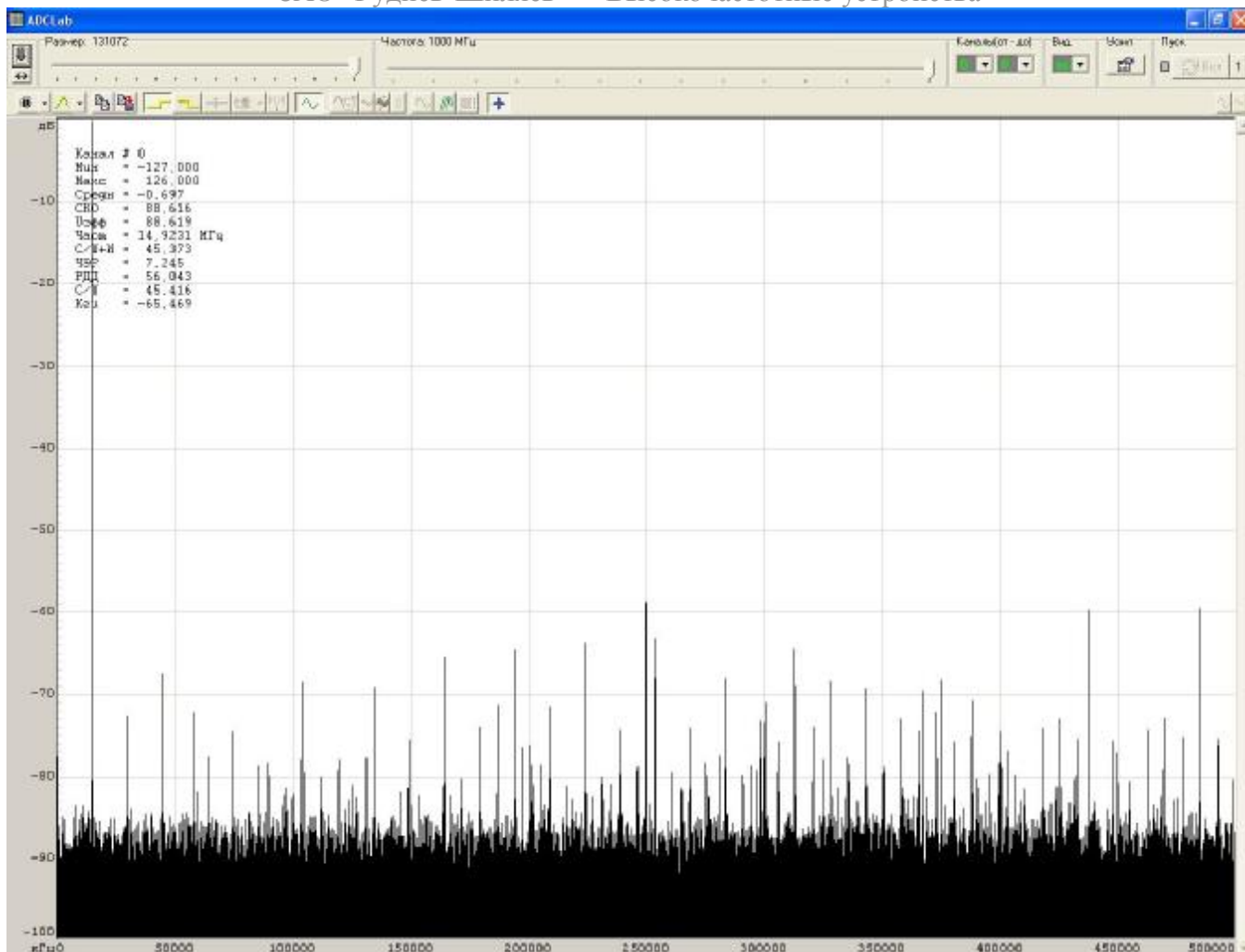
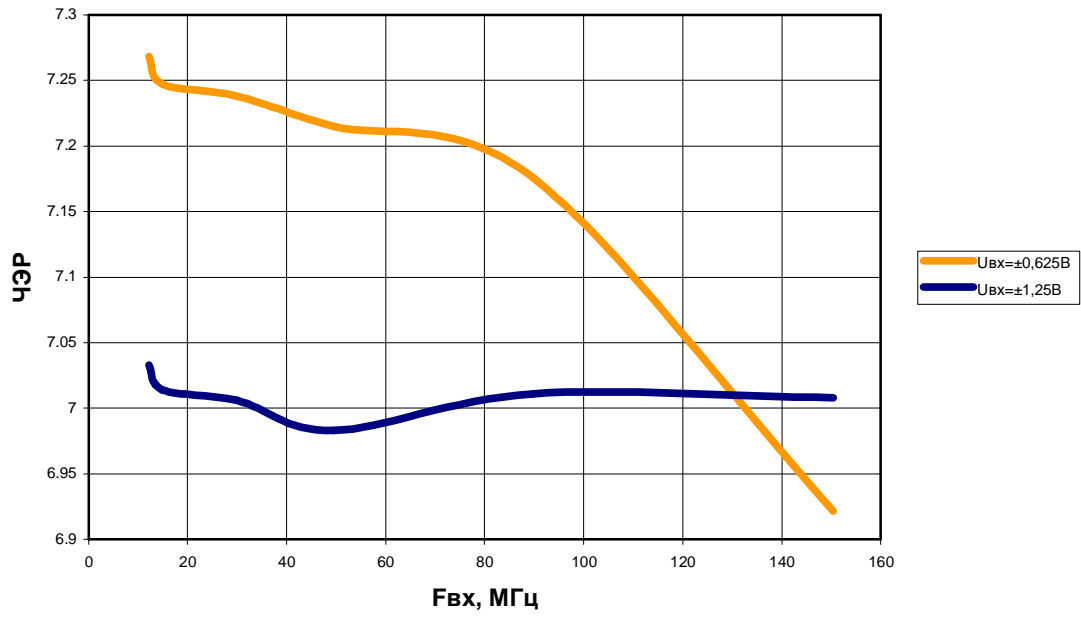


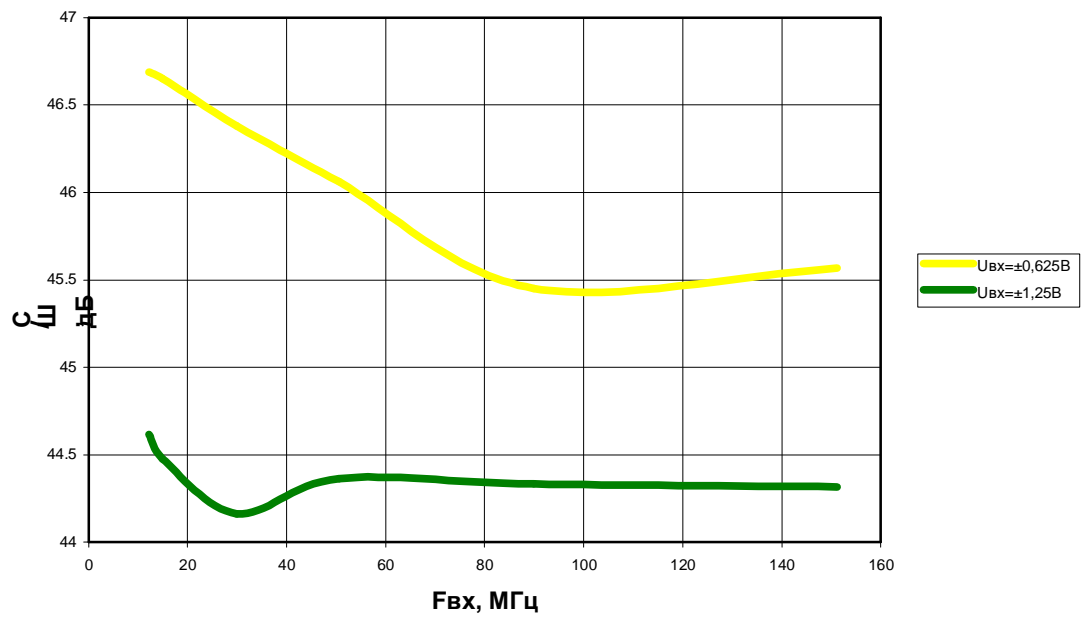
Рис. 5.2. Спектр сигнала при частоте 15 МГц и $K_{ус}=4$

5.3. Параметры ЛА-н1USB

ЛА-н1USB, Fd=1ГГц



ЛА-н1USB, Fd=1ГГц



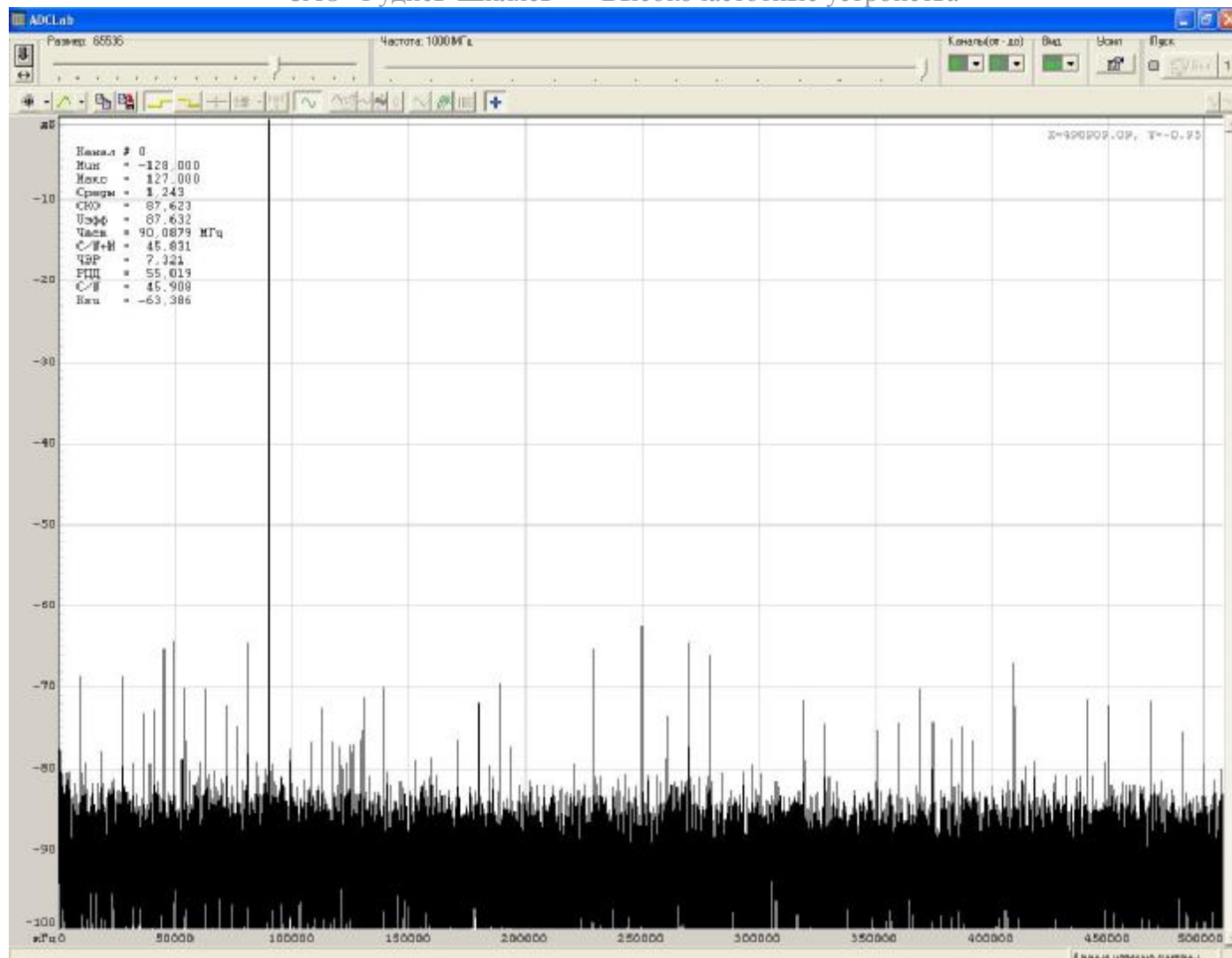


Рис. 5.3. Спектр сигнала при частоте 90 МГц

6. Особенности применения высокочастотных АЦП

По мере развития технологии производства микросхем постоянно увеличивается частота дискретизации и разрядность АЦП. Производители АЦП, используя современные возможности, постоянно работают над улучшением статических и динамических характеристик своих изделий. Соответственно повышаются требования и к разработчикам высокочастотных устройств. Каким характеристикам необходимо уделять особое внимание для получения наиболее приемлемых параметров разрабатываемого на основе АЦП устройства? К сожалению, в рамках одной статьи невозможно осветить все проблемы, влияющие на результат преобразования, поэтому подробнее остановимся на влиянии источника тактовой частоты.

За последнее время многие производители АЦП представили новые семейства микросхем с очень высокими характеристиками (табл. 6.1). Особенно хочется отметить тот факт, что с ростом частоты дискретизации динамические характеристики многих АЦП остаются высокими на частотах входного сигнала, близких к максимальной частоте дискретизации. Раньше производители не приводили характеристики АЦП на частотах выше половины частоты дискретизации, поскольку число эффективных разрядов (ЧЭР) довольно быстро снижалось с ростом входной частоты. Сейчас ситуация меняется в лучшую сторону. Как показывает сравнение типовых характеристик 8-бит и 10-бит АЦП фирм Maxim Integrated Products и e2v, соответственно, разница между ними на высокой частоте входного сигнала не превышает половины разряда (табл. 6.2). Поэтому при выборе АЦП необходим тщательный анализ характеристик в заданной частотной области.

Таблица 6.1. Характеристики современных АЦП новых семейств

Тип АЦП	Производитель	Разрядность, бит	Частота дискретизации, МГц
ADC08D1000	National Semiconductor	8	1000
ADC08D1500	National Semiconductor	8	1500
AT84AD001	e2v*	8	1000
AT84AS004	e2v*	10	2000
AD6645	Analog Devices	14	105
ADS5500	Texas Instruments	14	125
LTC2255	Linear Technology	14	125
LTC2207	Linear Technology	16	105

Таблица 6.2. Типовые характеристики АЦП фирм Maxim и e2v

Характеристики	MAX108CHC (фирма Maxim)			AT84AS004 (фирма Atmel)			
	20	750	1500	100	750	1000	2000
$F_{вх}$, МГц	1500	1500	1500	1000	1500	2000	2000
$F_{дискр}$, МГц	7,71	7,51	7,07	8	8	7,8	7,5
ЧЭР	47,4	46,8	44,8	52	52	51	50
Отношение сигнал/шум, дБ	60,2	52,1	44,5	52	52	49	49
Коэффициент гармонических искажений, дБ	61,6	54,0	44,6	58	58	55	54
Динамический диапазон, дБ							

* Компания e2v приобрела права у фирмы Atmel на 8-, 10- и 12-разрядные АЦП с частотой дискретизации от 500 МГц до 5 ГГц

В технических описаниях микросхем АЦП производители указывают характеристики, полученные с помощью тестовой платы (Evolution board, Evolution kit), на которой установлены только те элементы, которые необходимы для тестирования АЦП.

В качестве источников входного и тактового сигнала в этих платах обычно используются стационарные генераторы таких компаний, как Hewlett-Packard, Rohde & Schwarz и Agilent Technologies. Из многочисленной номенклатуры приборов выбираются те, которые заведомо выше классом, чем тестируемые АЦП. При решении реальных задач ситуация другая. Разработчику, как правило, самому приходится проектировать тактовый генератор. Во многих случаях на входе АЦП, не обойтись без усилителей, аттенуаторов, мультиплексоров и фильтров. Кроме того, в непосредственной близости с АЦП могут оказаться многочисленные ПЛИС, процессоры, память и т.п., что приводит к ухудшению результата измерений. Поэтому для достижения в разрабатываемой системе характеристик, заявленных производителем АЦП, необходима долгая и кропотливая работа по выбору элементной базы и проектированию печатной платы. Конечный результат зависит не только от выбранной схемотехники, но и от размещения элементов на печатной плате, и во многом от самой печатной платы. Материал для изготовления печатной платы, число слоев, расстояние между ними — все это непосредственно влияет на конечные характеристики разрабатываемого устройства. Огромное значение имеет качество источников питания и способ подсоединения земляных и питающих шин. Для минимизации влияния цифровой схемы на аналоговый канал во многих случаях приходится экранировать высокочастотные и высокоимпедансные узлы. Рассмотрим некоторые узловые моменты, по которым можно оценить требования, предъявляемые к тактовому генератору. Один из основных факторов, влияющих на точность измерения амплитуды, — нестабильность частоты тактового сигнала (рис. 6.1).

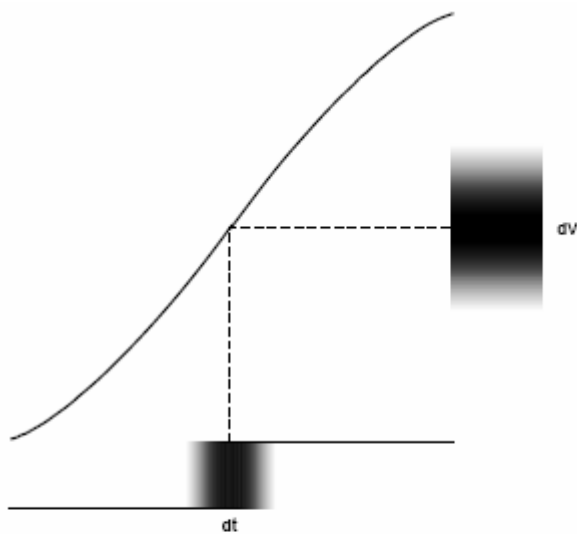


Рис.6.1. Влияние нестабильности частоты тактового сигнала на точность измерения амплитуды

Очевидно, с ростом скорости нарастания входного сигнала эта зависимость будет заметней. Нестабильность моментов формирования цифровых отсчетов АЦП – джиттер (от англ. *jitter* — дрожание) вносит большой вклад в ухудшение отношения сигнал/шум (С/Ш) и тем самым уменьшает эффективную разрядность самого АЦП.

Как известно, для идеального АЦП с учетом только шума квантования $C/Ш = (6,02 \cdot N + 1,76)$, где N – число разрядов АЦП. В случае идеального 16-разрядного преобразователя $C/Ш = 6,02 \times 16 + 1,76 = 98$ дБ. $C/Ш$ для реального АЦП, неминуемо вносящего дополнительные погрешности в

процесс измерения, ухудшается. На практике $C/\text{Ш}$ может учитывать гармоники основной частоты, если это указано специально. Такой параметр называют отношение сигнала к шуму плюс искажения ($C/[\text{Ш}+\text{И}]$). Экспериментально $C/[\text{Ш}+\text{И}]$ можно измерить, используя высококачественный измеряемый сигнал и вычисляя БПФ. При этом в понятие шума включаются и гармоники сигнала (искажения). Подставляя полученное отношение в приведенную формулу расчета $C/\text{Ш}$, можно найти число эффективных разрядов (ЧЭР) АЦП.

Для более наглядного отображения влияния нестабильности частоты тактового сигнала примем $C/[\text{Ш}+\text{И}] = C/\text{Ш}$, тогда $C/\text{Ш} = 20\lg(1/2\pi F_{\text{вх}} t_j)$, где $F_{\text{вх}}$ – частота входного сигнала, t_j – джиттер. На рис. 6.2 приведено семейство графиков, соответствующих определенному числу эффективных разрядов, по которым можно оценить допустимый джиттер (t_j) тактового сигнала.

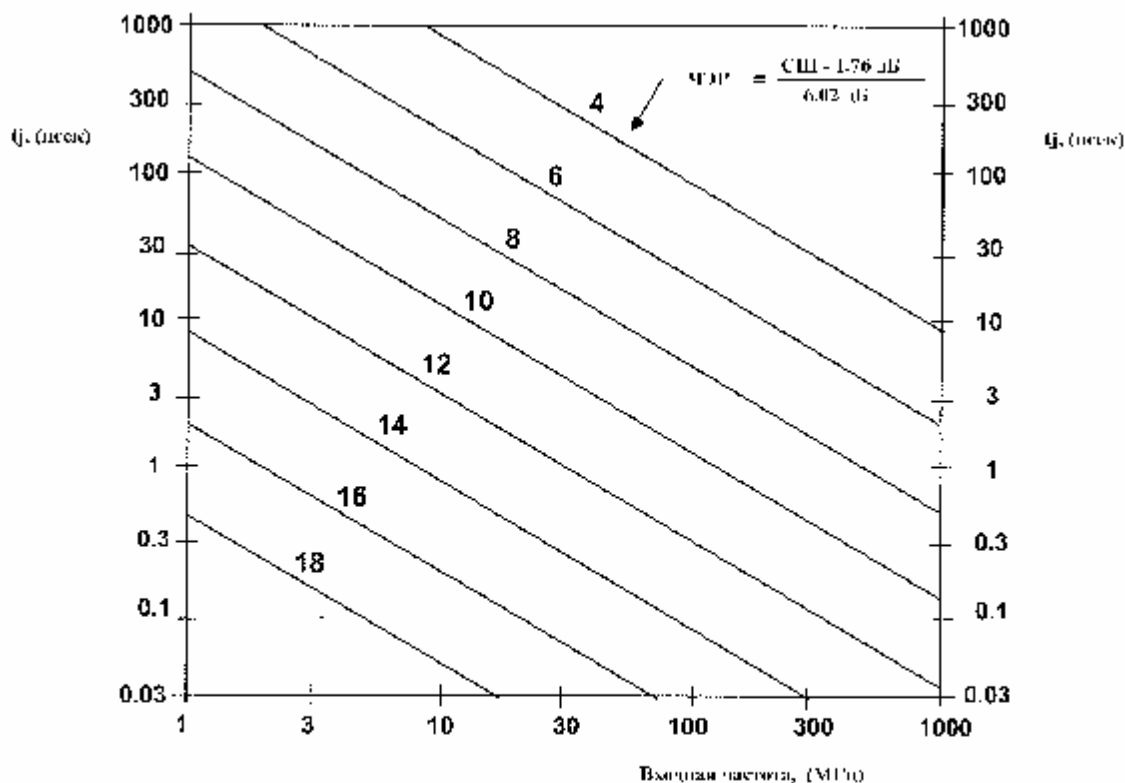


Рис.6.2. Влияние джиттера на число эффективных разрядов в зависимости от частоты входного сигнала

Входная частота, (МГц) - Входная частота, МГц
 t_j , (псек) - t_j , пс

Вклад во временную нестабильность тактового сигнала вносит не только внутренний джиттер АЦП, но и микросхемы и элементы внешних цепей расположенных на плате.

Рассмотрим реальные данные, полученные с помощью платы ЗАО «Руднев-Шиляев» ЛА-н1РС1. На плате используется восьмиразрядный АЦП – МАХ104СНС фирмы Maxim. Плата имеет один канал с максимальной частотой дискретизации 1 ГГц; при $R_{\text{вх}}=1 \text{ МОм}$: диапазоны $\pm 5\text{В}$, $\pm 2,5\text{В}$, $\pm 1\text{В}$ $\pm 0,5 \text{ В}$, полоса 100 МГц(-3 дБ); при $R_{\text{вх}}=50 \text{ Ом}$: диапазоны $\pm 2 \text{ В}$, $\pm 1 \text{ В}$, $\pm 0,5 \text{ В}$, $\pm 0,25 \text{ В}$, полоса 300 МГц(-3дБ); 8-МБайт ОЗУ; интерфейс РС1.

На вход подается тестовый синусоидальный сигнал с частотой 90 МГц. Источник тактовой частоты –внутренний стабильный кварцевый генератор на 1 ГГц. Анализ проводился с помощью БПФ размером 64 Кбайт, при этом использовалось окно Блэкмана-Хэрриса седьмого порядка.

На рис. 6.3 показано сравнение результатов БПФ при использовании в качестве источника тактового сигнала стабильного кварцевого генератора и внешнего генератора с высоким фазовым шумом. Как видно, во втором случае общий уровень шума заметно вырос. Кроме того, у основания основной гармоники видны паразитные спектральные составляющие.

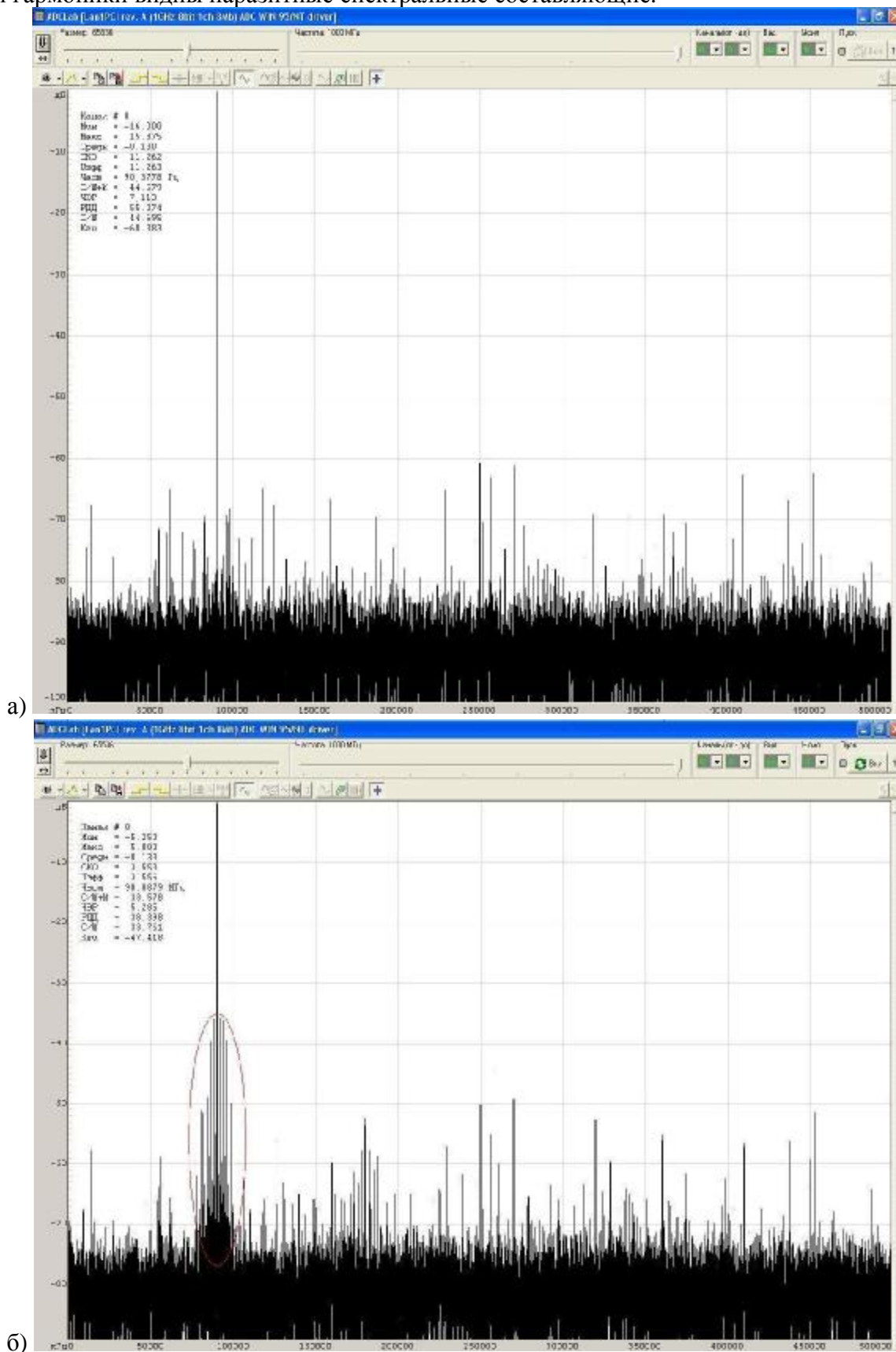
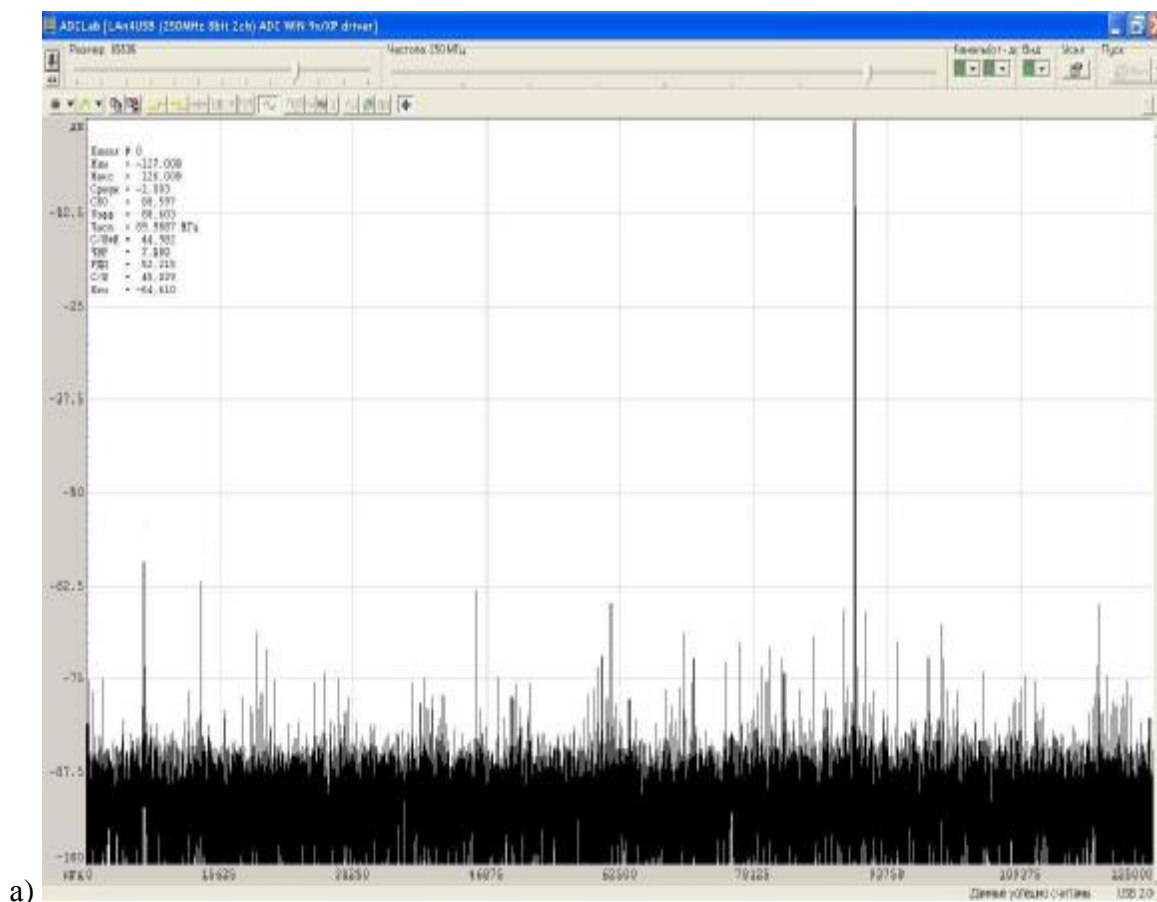


Рис. 6.3. Результат БПФ при использовании в качестве источника тактовой частоты платы ЛА-н1РС1 стабильного кварцевого генератора (а) и генератор с высоким фазовым шумом (б)

К таким результатам может привести не только собственный фазовый шум тактового генератора, но и неверное размещение генератора на печатной плате, недостаточная амплитуда сигнала или неправильное согласование волнового сопротивления. Очевидно, в этом случае применение АЦП большей разрядности результата заметно не улучшит.

Стремясь повысить частоту дискретизации наиболее доступным и дешевым способом, многие производители цифровых запоминающих осциллографов и плат сбора данных удваивают частоту дискретизации, защелкивая входной сигнал попеременно двумя различными АЦП. Однако в этом случае следует учитывать некоторые особенности оцифровки сигнала. Прежде всего, статические характеристики АЦП должны быть идентичными. Для обеспечения долговременной стабильности должен быть предусмотрен режим калибровки статических характеристик каждого канала. Точность установки фазы тактового сигнала между каналами должна рассчитываться по методике, описанной выше. Но даже при соблюдении всех этих требований, добиться такого же результата как в случае с одним АЦП, на высокой частоте входного сигнала, крайне сложно из-за неидентичности амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) разных каналов.

Рассмотрим влияние удвоения частоты дискретизации на примере высокочастотного устройства сбора данных ЗАО "Руднев-Шиляев" ЛА-н4USB с двумя синхронными каналами, выполненного на основе восьмиразрядного АЦП. Устройство также содержит 2-МБайт ОЗУ и интерфейс USB 2.0. Максимальная частота дискретизации на канал составляет 250 МГц, в одноканальном режиме – 500 МГц (режим удвоения частоты). Защита по входу – ± 150 В, диапазоны – ± 25 В, $\pm 12,5$, ± 5 , $\pm 2,5$, $\pm 1,25$, $\pm 0,625$, $\pm 0,25$ и $\pm 0,125$; $R_{вх} = 1$ МОм; полоса – 100 МГц(-3дБ). На вход подавался тестовый синусоидальный сигнал с частотой 90 МГц. Спектры тестовых сигналов, оцифрованных этой платой в режиме без удвоения и в режиме удвоения частоты дискретизации приведены на рис. 6.4. С ростом частоты входного сигнала амплитуда помехи, обусловленной различием каналов АЦП, будет увеличиваться.



а)

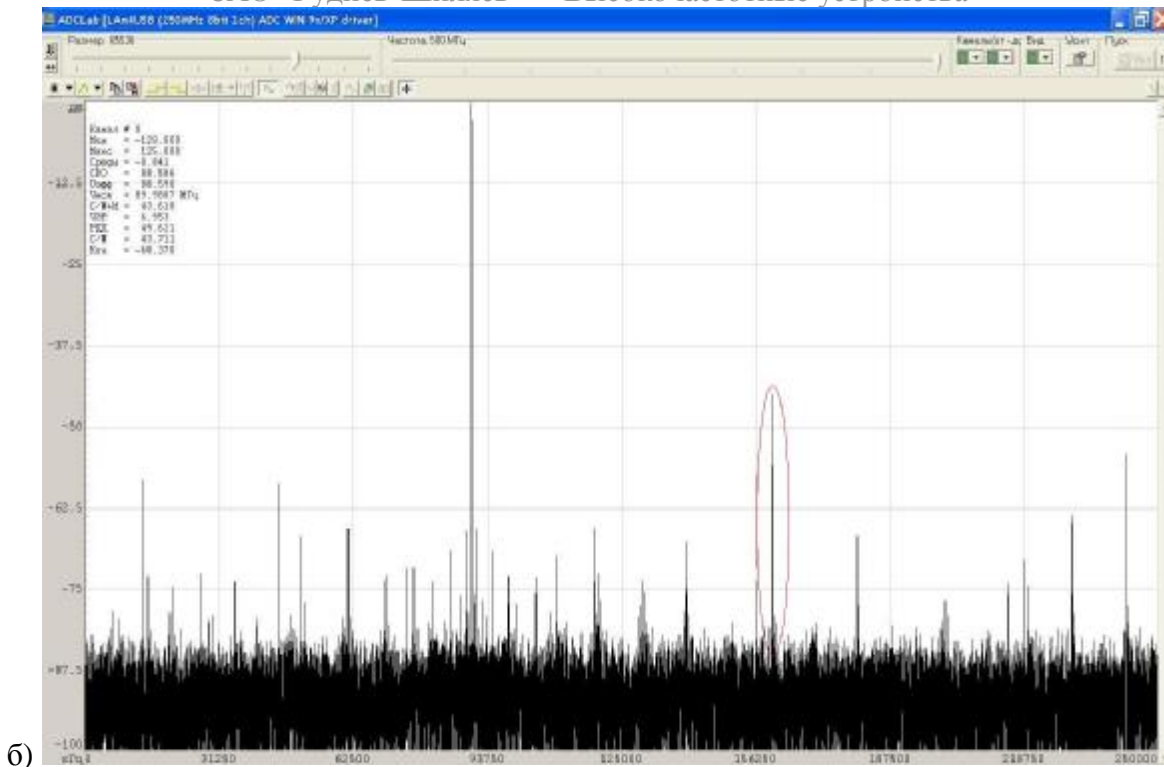


Рис. 6.4. Спектры сигналов, оцифрованных платой ЛА-н4USB в режимах без удвоения (а) и удвоения частоты дискретизации (б). Красной огибающей отмечена спектральная составляющая, появляющаяся из-за различия каналов АЦП.

Однако, некоторые современные двухканальные АЦП, такие как ADC08D1000, ADC08D1500 компании National Semiconductor, AT84AD001 фирмы e2v и другие, предусматривают работу в одноканальном режиме с удвоенной частотой дискретизации. Они имеют встроенный мультиплексор входного сигнала, позволяют программно подстраивать фазу тактового сигнала, коэффициент усиления и смещение каждого канала. У таких АЦП деградация характеристик в режиме удвоения частоты дискретизации наступает на более высоких частотах, чем в случае применения двух одноканальных АЦП. В качестве примера, приведем характеристики платы ЗАО «Руднев-Шилиев» ЛА-н1USB, выполненной на основе восьмиразрядного АЦП ADC08D1000. Плата имеет два синхронных канала, 8-Мбайт ОЗУ и интерфейс USB 2.0. Максимальная частота дискретизации составляет 1 ГГц на канал; в одноканальном режиме – 2 ГГц (режим удвоения частоты); полоса при $R_{вх} = 1 \text{ Мом}$ – 100 МГц(-3 дБ); при $R_{вх} = 50 \text{ Ом}$ – 300 МГц(-3 дБ). На вход подается тестовый синусоидальный сигнал частотой 90 МГц. Отличие спектральных характеристик платы ЛА-н1USB в режиме без удвоения и в режиме удвоения частоты дискретизации весьма незначительно (рис. 6.5).

Таким образом, при выборе высокочастотного АЦП, описанного выше типа, необходимо знать в какой полосе частот входного сигнала будет работать конечный прибор, созданный на базе этой микросхемы. Нужно определить минимальный динамический диапазон, который будет достаточен для решения поставленной задачи, подобрать элементную базу с учетом требуемого функционала, габаритов, энергопотребления и возможностей проектирования и изготовления печатной платы. На основе многолетнего опыта, накопленного ЗАО «Руднев-Шилиев» в области применения высокочастотных АЦП, можно отметить, что для получения приемлемых характеристик разрабатываемого устройства иногда требуется несколько итераций, в ходе выполнения которых конструкция его может значительно измениться. Надеемся, что данная статья поможет Вам при выборе или проектировании систем с высокочастотными АЦП.

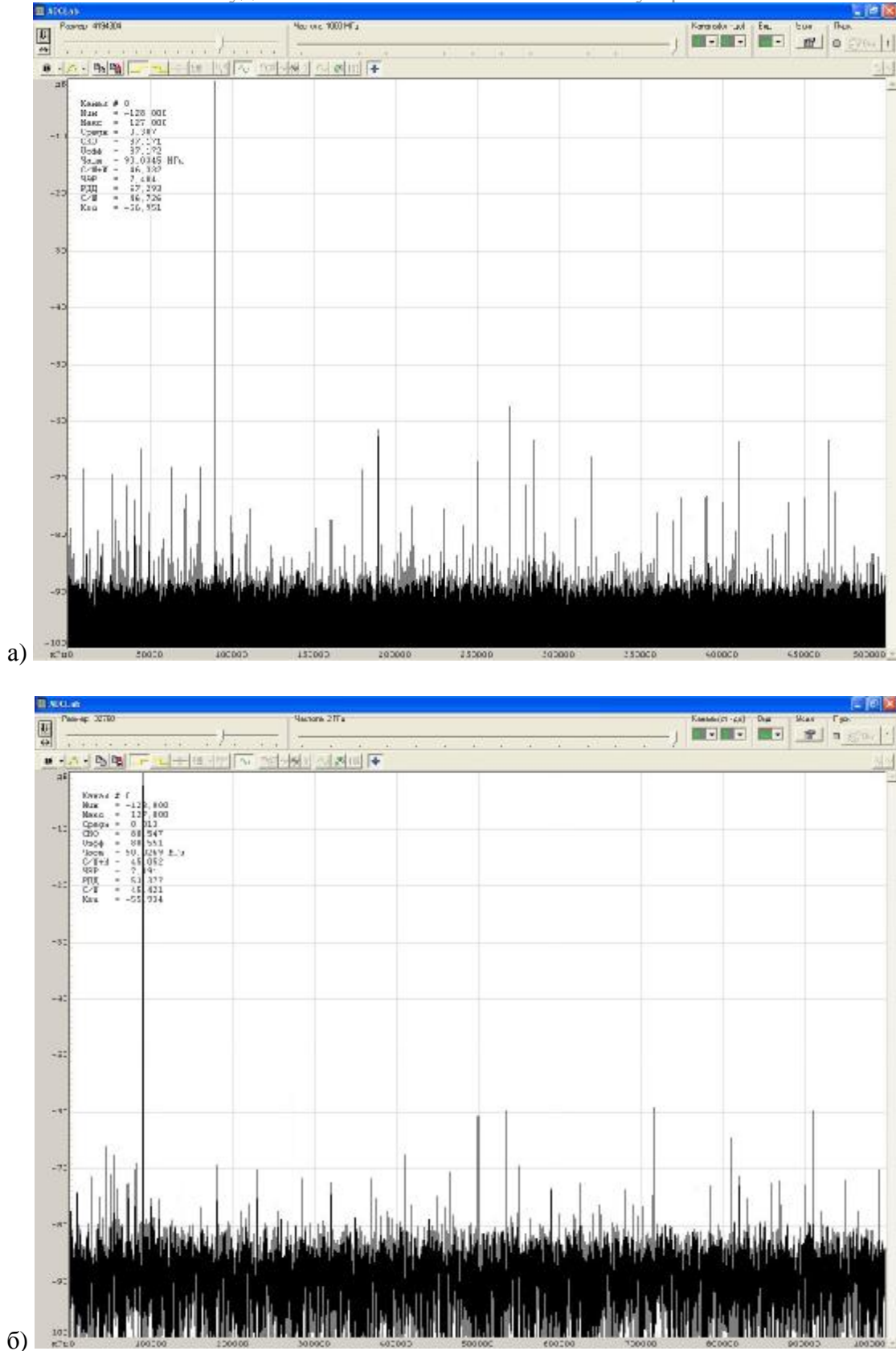


Рис. 6.5. Спектральные характеристики платы ЛА-н1USB в режимах без удвоения (а) и режиме удвоения частоты дискретизации (б)

Литература

Walt Kester. Sampling clock generation.

Data sheets MAX108CHC.

Data sheets AT84AS004.