

ОДНОКРИСТАЛЬНАЯ ШИРОКОПОЛОСНАЯ ПОДСИСТЕМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

В статье дана краткая информация о новом однокристальном устройстве обработки сигналов промежуточной частоты в радиоприемных устройствах. Дана информация о возможности тестирования ИМС AD6676 в on-line режиме. Приведены результаты некоторых тестовых экспериментов.



WIDEBAND IF RECEIVER SUBSYSTEM

Abstract – The article gives brief information about the new single-chip device processing intermediate frequency signals in a radio receiving devices. Given information about the possibility of testing the IC AD6676 in on-line mode. The results of some test experiments.

В. Макаренко

V. Makarenko

Компания Analog Devices анонсировала широкополосную систему обработки сигналов промежуточной частоты, выполненную в одном кристалле. ИМС AD6676 [1] предназначена для создания оборудования широкополосных сетей мобильной связи, для создания репитеров, для использования в системах связи точка-точка (Point-to-point), для создания контрольно-измерительного оборудования, сетевых анализаторов, анализаторов спектра и разработки устройств SDR (Software defined radio).

Основные технические характеристики AD6676:

- коэффициент шума (NF) не более 13 дБ
- спектральная плотность шума (NSD) не более -159 dBFS/Гц *
- уровень интермодуляционных искажений третьего порядка (Input Third-Order Intercept – ИТЗ) 36.9 дБм, а уровень побочных составляющих не более -99 dBFS
- сигма-дельта АЦП с перестраиваемой центральной частотой и полосой пропускания
 - ♦ полоса пропускания сигнала от 20 до 160 МГц
 - ♦ центральная частота от 70 МГц до 450 МГц
- настраиваемый диапазон уровней входных сигналов от -2 дБм до -14 дБм
- неравномерность АЧХ в полосе пропускания не более 1 дБ

* dBFS – дБ к полной шкале дБ_{ПШ}

- затухание вне полосы пропускания не менее 50 дБ
- тактовая частота АЦП от 2 до 3.2 ГГц
- встроенный умножитель частоты на базе ФАПЧ
 - преобразование I/Q составляющих с частотой до 266 МГц с помощью 16-разрядного АЦП
 - встроенный процессор цифровой обработки сигналов
 - генератор, управляемый кодом (NCO), и квадратурный цифровой понижающий преобразователь (QDDC) частоты
 - переключаемый коэффициент децимации 12, 16, 24 и 32
 - система автоматической регулировки усиления (AGC)
 - встроенный аттенюатор с диапазоном регулировки 27 дБ, шаг регулировки 1 дБ
 - быстрая перестройка аттенюатора через конфигурируемый AGC data port
 - обнаружение выбросов сигнала с регулируемыми порогами обнаружения
 - потребляемая мощность не более 1.2 Вт
 - напряжение питания от 1.1 до 2.5 В
 - габаритные размеры 4.3×5.0 мм
 - диапазон рабочих температур от -40 до 85 °С
 - корпус WLCSP, 80 выводов.

Структурная схема ИМС AD6676 приведена на рис. 1.

Микросхема содержит управляемый кодом аттенюатор (АТТ), сигма-дельта АЦП, квадратурный понижающий преобразователь частоты

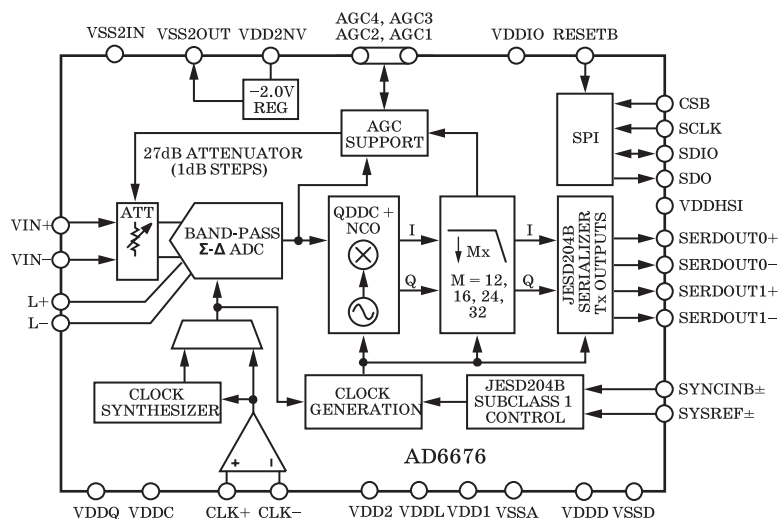


Рис. 1. Структурная схема ИМС AD6676

ты (QDDC), содержащий, управляемый кодом (NCO), генератор, блок цифровой обработки, осуществляющий фильтрацию и децимацию обрабатываемого сигнала, а также порты ввода-вывода. Встроенная система автоматической регулировки усиления (AGC SUPPORT) анализирует коды, формируемые на выходе АЦП и блока цифровой обработки, и вырабатывает сигнал управления входным аттенуатором. Синхронизация работы АЦП осуществляется встроенным синтезатором (CLOCK SYNTHESIZER) и формирователем тактовых сигналов (CLOCK GENERATION). Сигнал опорной частоты от внешнего источника подается на вход синтезатора через согласующее устройство со входов CLK+ и CLK-. Последовательный интерфейс JESD204B, обеспечивает простое взаимодействие с хост-процессором.

Σ-Δ АЦП AD6676, который работает с тактовой частотой от 2.0 до 3.2 ГГц, обеспечивает широкий динамический диапазон и в сочетании с цифровыми фильтрами, реализованными в блоке цифровой обработки сигналов, надежную защиту от наложения спектров (antialiasing). Интегрированный быстродействующий цифровой пиковый детектор определяет мгновенную мощность входного сигнала, что позволяет быстро справляться с большими выбросами сигнала в полосе и вне полосы пропускания АЦП путем изменения коэффициента передачи аттенуатора.

Если требования к уровню фазовых шумов превышают характеристики встроенного в

ИМС кварцевого генератора синтезатора частоты, то можно подключить внешний источник опорного сигнала через входы CLK+ и CLK-.

Наличие интерфейса SPI обеспечивает простое сопряжение ИМС с различными внешними устройствами.

Еще одной особенностью ИМС AD6676 является возможность быстрого переключения настроек. Предусмотрено быстрое переключение на один из 4-х вариантов настроек несущей частоты и полосы пропускания за время менее 1 мс.

Совокупность различных характеристик AD6676 позволяет выполнять реконфигурируемые радиочастотные модули для высокопроизводительных систем передачи и приема радиосигналов.

Рассмотрим более подробно некоторые характеристики ИМС. На рис. 2 приведена нормированная АЧХ тракта преобразования промежуточной частоты от входа до выхода цифрового фильтра. Как следует из графика неравномерность АЧХ в полосе пропускания не превышает 1 дБ.

Для оценки динамического диапазона на выходе тракта ПЧ необходимо знать спектральную плотность шума, приведенного ко входу преобразователя. На рис. 3 приведены графики зависимости спектральной плотности шума при отсутствии сигнала на входе и при уровне сигнала -1 дБ_{пш}.

При измерениях частота дискретизации

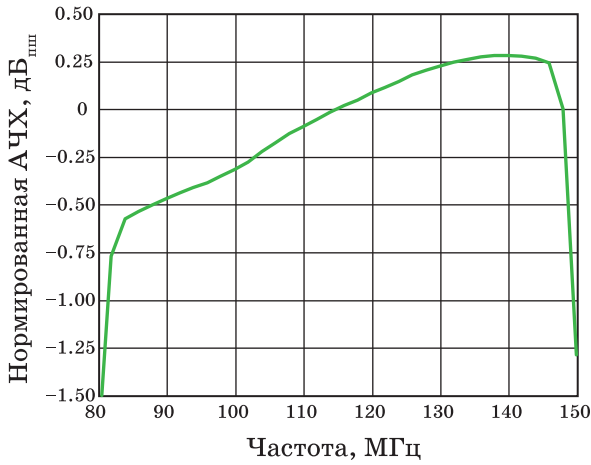


Рис. 2. Нормированная АЧХ тракта обработки сигналов промежуточной частоты

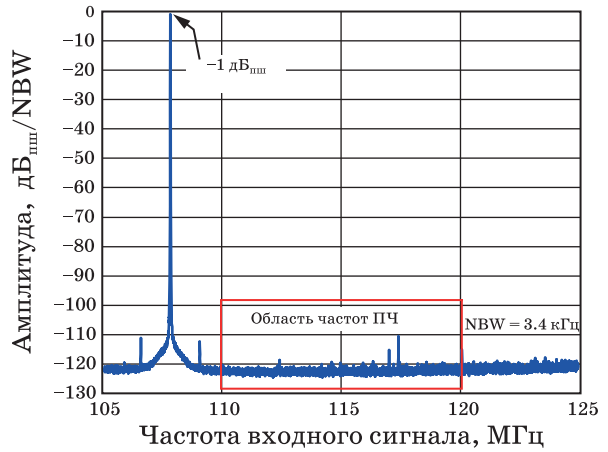


Рис. 4. Спектр сигнала на выходе АЦП

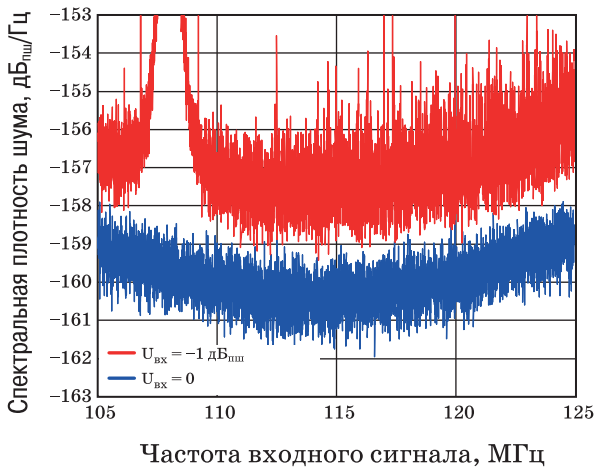


Рис. 3. Спектральная плотность шума, приведенного ко входу

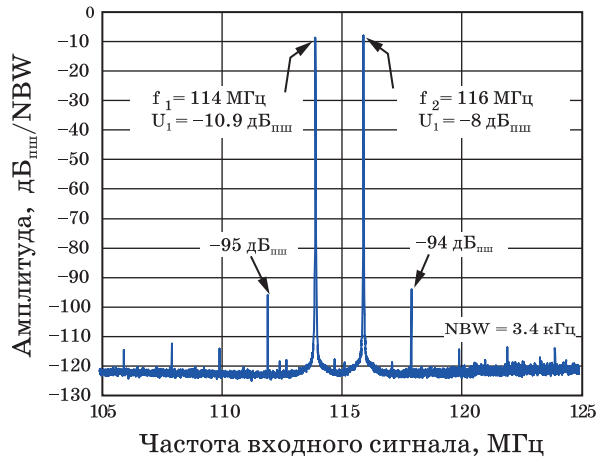


Рис. 5. Спектр сигнала на выходе АЦП при воздействии на вход двухтонового сигнала

АЦП была задана равной 2.4 ГГц, промежуточная частота 115 МГц, полоса пропускания 20 МГц, частота IQ-составляющих 75 МГц, затухание входного аттенюатора 0 дБ, полоса частот в которой измерялся уровень шума $NBW = 3.4$ кГц.

Спектр сигнала на выходе АЦП приведен на рис. 4.

На рис. 5 приведен спектр сигнала на выходе АЦП при воздействии на вход двухтонового сигнала, из которого следует что уровень побочных и комбинационных составляющих не превышает -84 дБ_{нш}.

В [1] приведено большое число графиков,

характеризующих параметры ИМС AD6676 при различных значениях полосы пропускания и частоты несущего колебания.

Поведение сигма-дельта АЦП при перегрузках иллюстрирует рис. 6.

При испытаниях на вход АЦП подавался импульс длительностью 10 нс, амплитуда которого превышает номинальный входной уровень на 5%. Параметры тестового сигнала: промежуточная частота $F = 300$ МГц, полоса пропускания $BW = 100$ МГц, частота дискретизации АЦП $f_{дискр} = 3.2$ ГГц. Время восстановления АЦП после перегрузки не превышает 35 нс. Реакцию АЦП на перегрузку при дру-

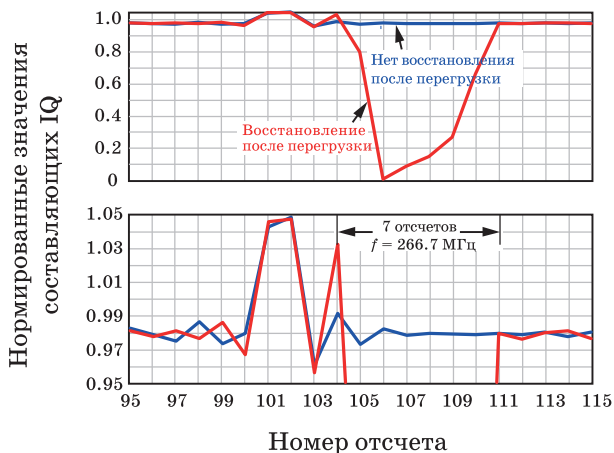


Рис. 6. Реакция сигма-дельта АЦП на перегрузку по входу

гих значениях параметров АЦП приведены в [1].

ИМС AD6676 содержит программируемую адаптивную систему обратной связи, что позволяет расширить SFDR (динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих) Σ - Δ АЦП в условиях сильного сигнала. Использование адаптивной системы ОС, которая случайным образом выбирает отсчеты, используемые в цепи обратной связи, и с помощью ЦАП реконструирует выходной сигнал квантователя. Эффективность работы адаптивной системы ОС иллюстрирует рис. 7.

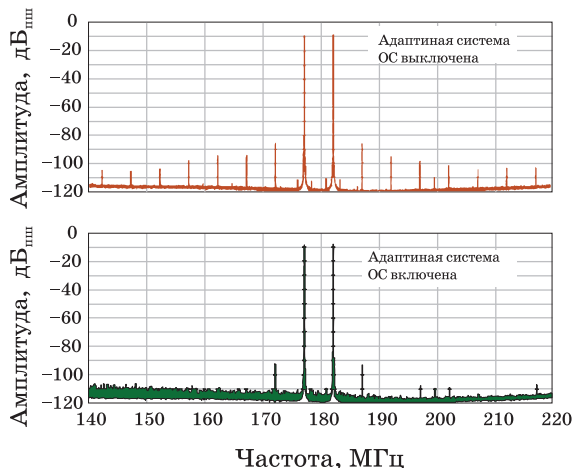


Рис. 7. Спектр двухтонового сигнала на выходе АЦП при выключенной (а) и включенной (б) адаптивной системе обратной связи

Как следует из спектров на рис. 7 уровень комбинационных составляющих при включенной системе адаптивной обратной связи уменьшается на 10...20 дБ.

Погрешность, вносимая attenuatorом, при переключении коэффициента передачи не превышает 0.12 дБ во всем диапазоне регулировки и менее 0.08 дБ в диапазоне коэффициентов затухания от 4 до 27 дБ (рис. 8).

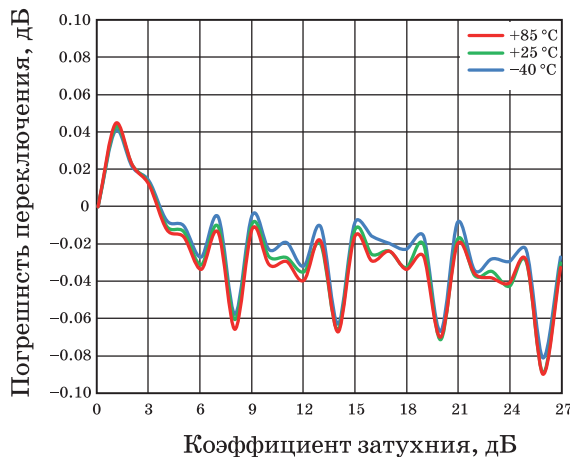


Рис. 8. Погрешность коэффициента передачи attenuатора при его изменении

На рис. 9 приведена схема сопряжения ИМС AD6676 с усилителем высокой частоты, а на рис. 10 – с внешним генератором тактовых сигналов.

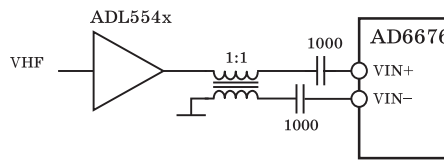


Рис. 9. Схема сопряжения усилителя высокой частоты с ИМС AD6676

При сопряжении с синтезатором частоты ADF4351 рекомендуется воспользоваться схемой, показанной на рис. 11.

На рис. 12 приведены зависимости спектральной плотности фазового шума при работе ИМС AD6676 с различными источниками тактовых сигналов.

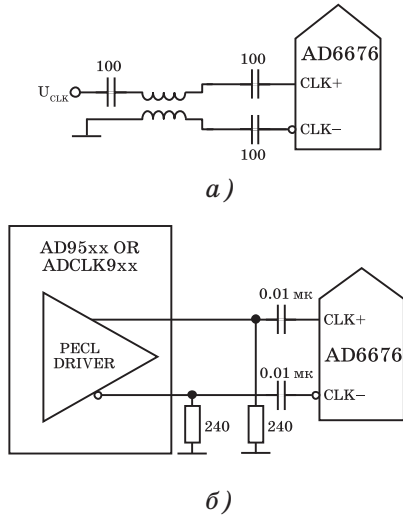


Рис. 10. Схема сопряжения источников тактовой частоты с несимметричным (а) и симметричными (б) выходами с ИМС AD6676

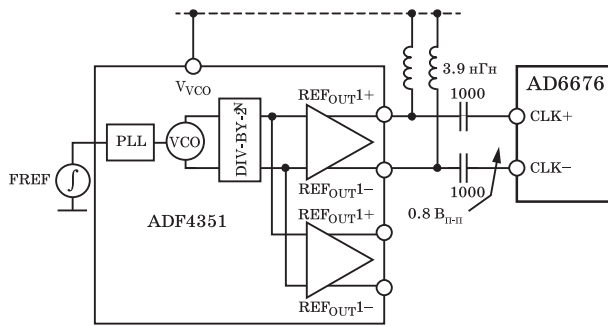


Рис. 11. Схема сопряжения синтезатора ADF4351 с ИМС AD6676

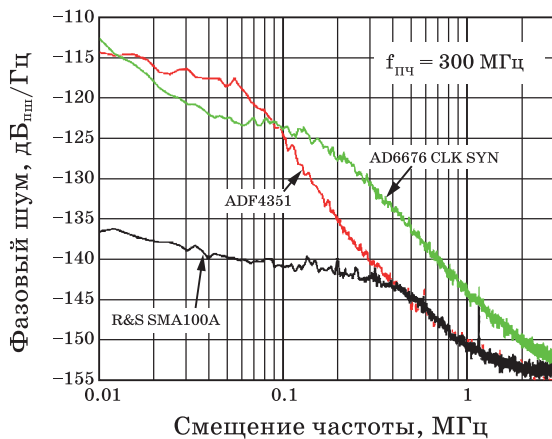


Рис. 12. Зависимость спектральной плотности фазового шума при работе ИМС AD6676 с различными источниками тактовых сигналов

Компания Analog Devices предлагает набор инструментов и программных средств для упрощения внедрения новых технологий. Помимо технической документации, демонстрационной платы и технической поддержки онлайн, разработчик ИМС реализовал средства удалённой работы с аппаратной частью, позволяющие заказчикам экспериментировать с чипом AD6676 в реальном времени. Для этого достаточно перейти по ссылке [1]. На открывшейся странице кроме ссылок на даташит есть текстовое сообщение:

For a limited time, take a live test drive of the AD6676 by using [our remote evaluation software](#).

Достаточно щелкнуть по ссылке, чтобы перейти на страницу несложной регистрации, после которой открывается страница тестирования AD6676. Для того чтобы пропустить регистрацию можно сразу перейти по ссылке [2]. Внешний вид тестового оборудования и демонстрационной платы, с помощью которой осуществляется тестирование приведен на рис. 13. Структурная схема тестовой установки приведена на рис. 15. В качестве источников всех сигналов используются генераторы компании Rohde&Schwarz SMA100A.

На этой же странице выведена таблица параметров, которые может задать пользователь (рис. 14). Для изменения в таблице доступны следующие параметры:

- частота дискретизации АЦП (F_{ADC})
- значение промежуточной частоты (F_{IF})
- ширина полосы пропускания тракта ПЧ



Рис. 13. Внешний вид тестового оборудования и демонстрационной платы, с помощью которой осуществляется тестирование AD6676

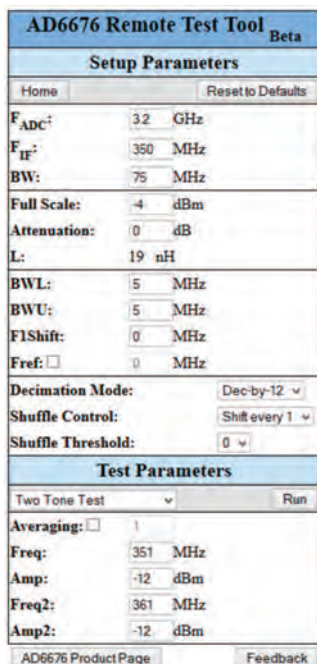


Рис. 14. Таблица изменяемых параметров AD6676

(BW)

- значение полной шкалы входного сигнала (Full Scale)
- затухание, вносимое входным аттенуатором (Attenuation)
- смещение промежуточной частоты (F1Shift)
- значение опорной частоты внешнего генератора (Fref)

- индуктивность согласующего трансформатора L (рис. 15 – индуктивность согласующего трансформатора)

- коэффициент децимации (Decimation Mode) можно выбирать из значений 12, 16, 24, 32

- управление перемежением отсчетов в адаптивной системе ОС (Shuffle Control)

- порог перемежения (Shuffle Threshold) выбирается из значений от 0 до 8

В разделе Test Parameters этой же таблицы задаются:

- один из 5 режимов тестирования:
 - ◆ Single Tone Test
 - ◆ Two Tone Test
 - ◆ Signal Transfer Function
 - ◆ Swept Spurious
 - ◆ Amplitude Sweep
- число усреднений результатов измерений (Averaging)
- значение промежуточной частоты (Freq)
- амплитуда входного сигнала (Amp).

После задания всех параметров необходимо нажать кнопку Run (рис. 14) и через 5 секунд на экран будут выведены результаты тестирования. Для того, чтобы проиллюстрировать влияние некоторых параметров проведем несколько экспериментов.

В первом эксперименте с однотоновым сигналом установим параметры, показанные на рис. 16, а во втором установим количество усреднений равным 8. Время тестирования во

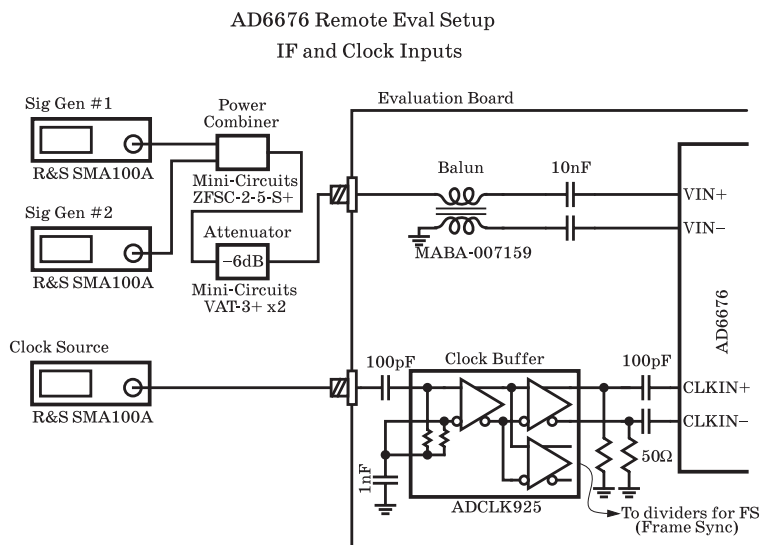


Рис. 15. Структурная схема тестовой установки

втором эксперименте увеличилось до 9 с. На рис. 17,а и 17,б приведены результаты этих экспериментов. Как следует из полученных результатов увеличение числа усреднений значительно снижает шумовую составляющую полученного спектра.

AD6676 Remote Test Tool <small>Beta</small>	
Setup Parameters	
Home Reset to Defaults	
F _{ADC} :	3.2 GHz
F _{IF} :	350 MHz
BW:	75 MHz
Full Scale:	-4 dBm
Attenuation:	0 dB
L:	19 nH
BWL:	5 MHz
BWU:	5 MHz
F1Shift:	0 MHz
Fref:	<input type="checkbox"/> 0 MHz
Decimation Mode:	Dec-by-32
Shuffle Control:	Shift every 1
Shuffle Threshold:	0
Test Parameters	
Single Tone Test Run	
Averaging: <input checked="" type="checkbox"/>	1
Freq:	350 MHz
Amp:	-3 dBm
AD6676 Product Page Feedback	

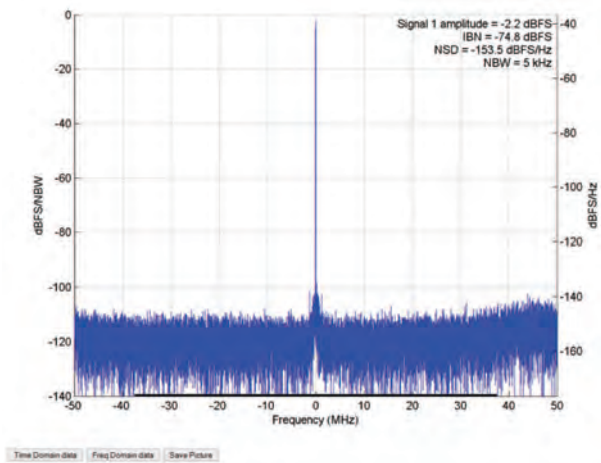
Рис. 16. Параметры теста с однотоновым входным сигналом

При уменьшении коэффициента децимации с 32 до 12 спектральная плотность шума значительно возрастает вне полосы пропускания тракта промежуточной частоты (рис. 18). Полоса пропускания выделена жирной черной линией на горизонтальной оси.

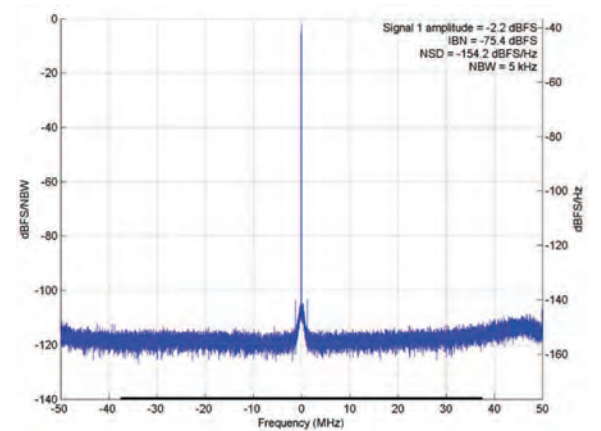
Проведем анализ работы ИМС AD6676 при подаче на вход двухтонового сигнала при двух значениях чувствительности адаптивной системы обратной связи (Shuffle Threshold) – 0 и 8. Параметры входных сигналов приведены в верхнем правом углу картинок спектров. Результаты тестирования приведены на рис. 19.

Так как время измерения при любых значениях параметров не превышает 20 с, это дает возможность детально исследовать характеристики ИМС AD6676 в реальном времени.

Результаты спектрального анализа можно получить в виде текстового файла. Для этого



а)



б)

Рис. 17. Результирующий спектр на выходе АЦП при отсутствии усреднений (а) и при числе усреднений равном 8 (б)

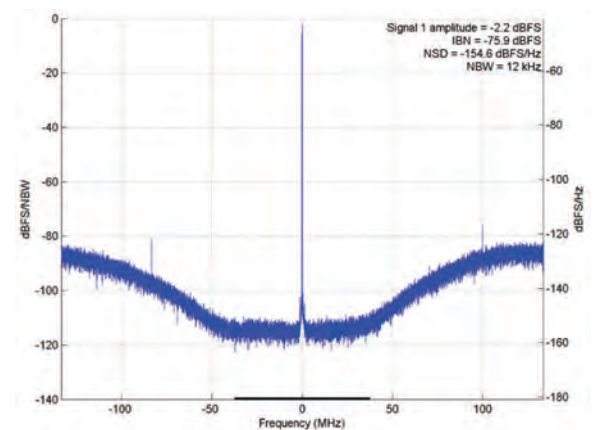
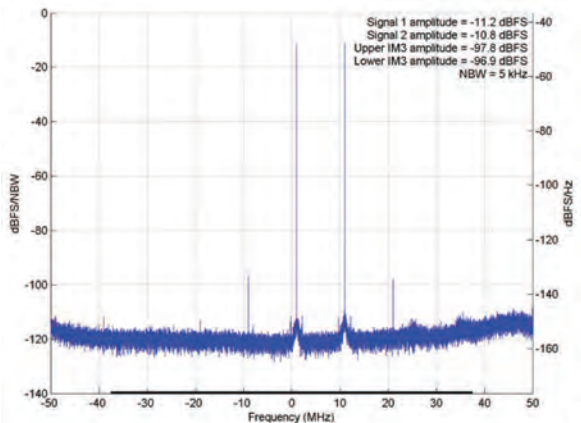
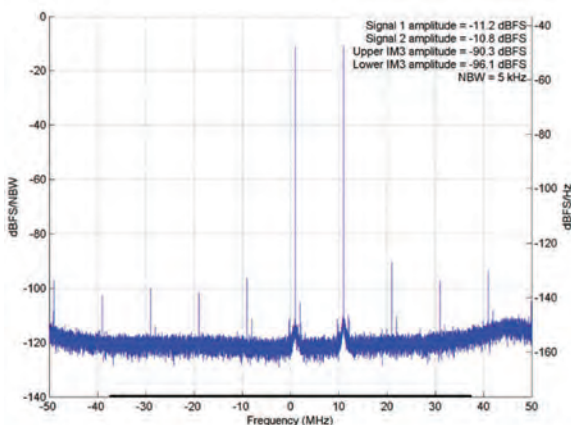


Рис. 18. Спектр сигнала на выходе АЦП при коэффициенте децимации равном 12



а)



б)

Рис. 19. Спектр сигнала на выходе АЦП при испытаниях двухтоновым сигналом и значением Shuffle Threshold равным 0 (а) и 8 (б)

такого файла приведен ниже:

Frequency(MHz)	Amplitude(dBFS)
-50	-1.209811e+02
-4.999695e+01	-1.102766e+02
-4.999390e+01	-1.071018e+02
-4.999084e+01	-1.099778e+02
-4.998779e+01	-1.128767e+02
-4.998474e+01	-1.145469e+02
-4.998169e+01	-1.166530e+02
-4.997864e+01	-1.123952e+02

Предоставление компанией Analog Devices возможности тестирования on-line позволяет отказаться от использования довольно дорогой оценочной платы AD6676EBZ (рис. 20), которая имеет стоимость \$395.

Кроме оценочной платы компания Analog Devices предлагает комплект оборудования для захвата и анализа данных HSC-ADC-EVALEZ по цене \$750 (рис. 21). Подробную информацию об этом комплекте можно найти на сайте компании Analog Devices [3].

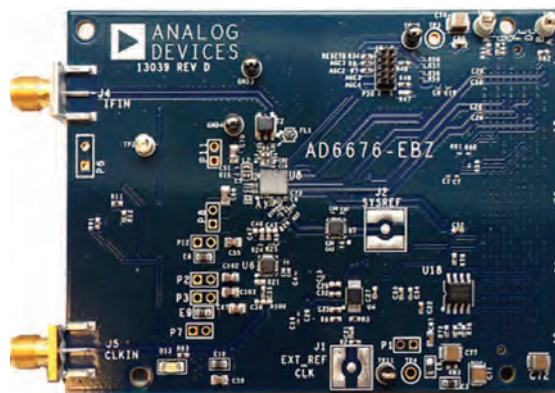


Рис. 20. Внешний вид оценочной платы AD6676EBZ

достаточно нажать кнопку "Freq Domain data" в нижней части экрана (рис. 17,а). Фрагмент

Выпущена электронная версия журнала ЭКиС за 2002-2013 годы

Идя навстречу просьбам читателей журнала ЭКиС, редакция подготовила электронную версию журнала за 2002-2013 годы, выполненную на CD-ROM.

Заявки на приобретение дисков принимаются по адресу:

**03061 Киев, ул. М. Донца, 6, НПФ VD MAIS
e-mail: ekis@vdmals.kiev.ua
или факсу: (044) 220-0202.**

Стоимость диска с электронной версией ЭКиС в зависимости от объема размещенной информации (без учета расходов на пересылку почтой):

2011-2013 г.	50 грн	200 руб.
2007-2013 г.	70 грн	250 руб.
2002-2013 г.	100 грн	400 руб.

**Контактное лицо: Скиба Юлия
тел.: (044) 220-0101, доп. 1209.**

В заявке должны быть указаны:

Ф.И.О., должность заказчика и его реквизиты.

Отправка дисков заказчиком производится после оплаты счета.



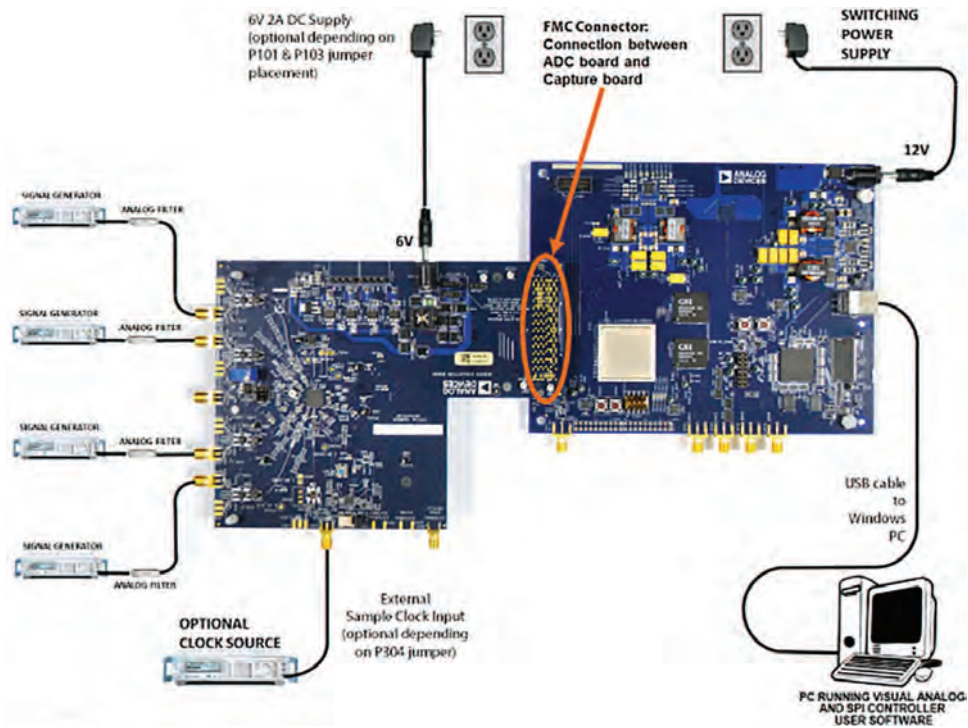


Рис. 21. Комплект оборудования для захвата и анализа данных HSC-ADC-EV ALEZ

Более подробную информацию о ИМС AD6676 можно найти в [1] и на сайте компании Analog Devices.

2. <http://ad6676eval.analog.com/>.
3. <http://wiki.analog.com/resources/eval/hsc-adc-eval/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD6676.pdf.

VD MAIS
Разработка и серийное производство электроники

- разработка электрических схем
- проектирование и изготовление печатных плат
- комплектация изделий электронными компонентами и конструктивами
- контрактное производство (по стандарту IPC-A-610):
 - автоматизированный монтаж SMD-компонентов и автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
 - изготовление опытных образцов изделий
 - мелко- и крупносерийное производство
- многолетний опыт разработки и производства
- гарантия качества

Сертификация на соответствие стандартам ISO 14001:2004 и ISO 9001:2008.
 Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202
 e-mail: info@vdm.kiev.ua, www.vdmais.kiev.ua



VD MAIS
Оборудование и материалы для монтажа/демонтажа электронных компонентов (ЭК)

- Паяльное и ремонтное оборудование
- Системы очистки воздуха - Устройства трафаретной печати - Системы установки компонентов - Паяльные печи: конвекционной и селективной пайки, пайки волной
- Испытательное оборудование
- Системы визуального контроля
- Координатно-фрезерные станки
- Технологические материалы монтажа ЭК
- Средства антистатической защиты

Дистрибуция и прямые поставки:
 AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essemtec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Samsung, Seho, TWS, Vision, Weiss

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202
 e-mail: info@vdm.kiev.ua, www.vdmais.kiev.ua

