

## ***Модуль ЦАП Altor ATDAC10 A/B.***

*Я заранее извиняюсь, но начало этого повествования почти полностью скопировано с начала описания Lynx D60, ну, так уж получилось, что оно сильно совпадает...*

Лет 12 назад, или чуть более того, ко мне попали несколько микросхем ЦАПов мало известной у нас тогда японской компании Asahi Kasei – АК4324 и АК4393.

Быстренько спаяв на макетке первую из них, в SPDIF приемником от Цирруса, я включил, и... звук мало отличался от звука обычного бумбокса. Почти одновременно, Алексей Никитин писал в эхоконференции Фидо, что 4393 ему более-менее понравилась, а также дал несколько рекомендаций по ее использованию. Я перепаял 4324 на 4393, с учетом их разницы, конечно. Стало намного лучше, но чуда не произошло, и я продолжил свои упражнения с микросхемами от известных производителей – AD и BB (TI) и про японцев забыл.

Прошло много лет, и «внезапно» со всех сторон стали появляться различные плееры и ЦАПы на их новой топовой микросхеме АК4399 – Lynx D60, Raptor, и куча поделок из «Сарайчиков дядюшки Ляо». Автор Раптора любезно прислал мне один из первых экземпляров, для отладки стыковки его с моими устройствами (JKill, JKill Light и особенно с xVeloci, в результате чего получился xVelociraptor), который быстренько был собран «на фанерке» с парой трансформаторов и выпрямителей. Замечу кстати – Раптор довольно чувствителен к пульсациям по своим входам питания, мне пришлось сделать П-образные CRC фильтр по цифровому питанию, иначе в спектре наблюдался просто «забор». Поэтому и другим на будущее – рекомендую или тоже самое (электролитов не жалеть), или использовать первичный стабилизатор, 7806-7809 или 317. С аналоговым питанием проще – там сильно меньше ток потребления.

Итак, кроме отладки стыковки Раптора, я, разумеется, еще его и послушал. И был, как и Lynx (Дима Андроников) довольно удивлен его приличным звучанием. В нарушение всех канонов, по которым считалось, что «только ЦАПы с токовым выходом имеют право на существование», и «с выходом по напряжению – это ширпотреб!» В оригинальном виде Раптор воспроизводит форматы PCM от 44.1 до 384кГц (что является оверклоком), и DSD64. Известно, что есть ЦАП на более простой микросхеме – АК4396, которая с оверклоком воспроизводит не только PCM384 но и DSD128. После нескольких экспериментов, АК4399 тоже была «покорена» и мой Раптор стал понимать DSD128, однако – это требует переделки платы, так что не надейтесь «двумя взмахами паяльника» исправить ситуацию, там все малость сложнее.

Почти одновременно с этим, я познакомился с их (Asahi Kasei) топовым на то время АЦП – АК5494, который я использовал в АЦП Онух. И как оно часто бывает – «внезапно» обнаружил, что не только американская ESS «вдруг» развила бешенную деятельность в области Hi-End Audio, но и японцы решили не отставать – и Asahi Kasei тоже анонсировала просто дикое количество новых микросхем ЦАП и АЦП, причем большинство – премиум сегмента!

К сожалению, большинство из них до сих пор недоступно (still not in production), а то, что можно получить как Engineering Samples – это сплошное сосредоточие глюков и «зарезервировано на будущее». В сочетании с ашипками и очепятками в даташитах – это особенно приятно L (хотя до ESS им в этом далеко – вот уж воистину глюкодром!).

В итоге, решил и я сделать ЦАП на микросхемах Asahi Kasei, но делать на АК4399 мне по разным причинам не хотелось, и была сделана ориентировка на другие «топы» этой фирмы – АК4414, АК4490 и АК4495. Первая микросхема была выбрана сочетанием довольно высоких заявленных параметров и при этом «4-х канальности» (4414 – это по сути, два ЦАПа в одном корпусе), что позволило реализовать столь популярное ныне параллельное включение ЦАПов (т.е. использование для двух стереоканалов двух ЦАПов, каждый из которых работает в моно-режиме). Как и АК4399, она ограничена форматами PCM192 и DSD64 (на сайте Asahi Kasei ошибка, где написано 11.2MHz, т.е. DSD256 – в даташите упоминается только DSD64), но как оказалось впоследствии – легко оверключится до PCM384/DSD128. Может быть и выше, но я не могу это проверить – нет пока источника PCM768/DSD256/DSD512.

Вторая микросхема была выбрана просто как «топовая», а идеологию было решено позаимствовать у Раптора – небольшая плата, со входом I2S и наличием на борту генераторов MCLK на обе сетки (44x/48x) и выдачей его наружу, для тактирования источников. Такое построение ограничивает использование ЦАПа только с источниками, тактируемыми из вне – т.е.

подать сигнал от обычного спдиф-приемника, который сам вырабатывает MCLK, восстанавливая его из входного сигнала, не получится.

С другой стороны – самые распространенные сейчас источники, это твердотельные плееры и USB-транспорты (Tango, «многофункциональный», Flamenco, Bolero, xVeloci, Edel, не говоря уже о поделках китайских ПТУ-шников из вышеупомянутого сарайчика на CM6631 и XMOS), а все они требуют тактирования именно «от ЦАПа». Если же так хочется использовать ЦАП с такой идеологией с сигналами SPDIF/TOSLINK, то JKill или Foxtrot/Charleston Вам в помощь, или же можно просто между ЦАПом и приемником использовать какой-нибудь ASRC, и тактировать его. Третья микросхема. АК4495 была исключена из рассмотрения как не имеющая смысла при наличии первых двух.

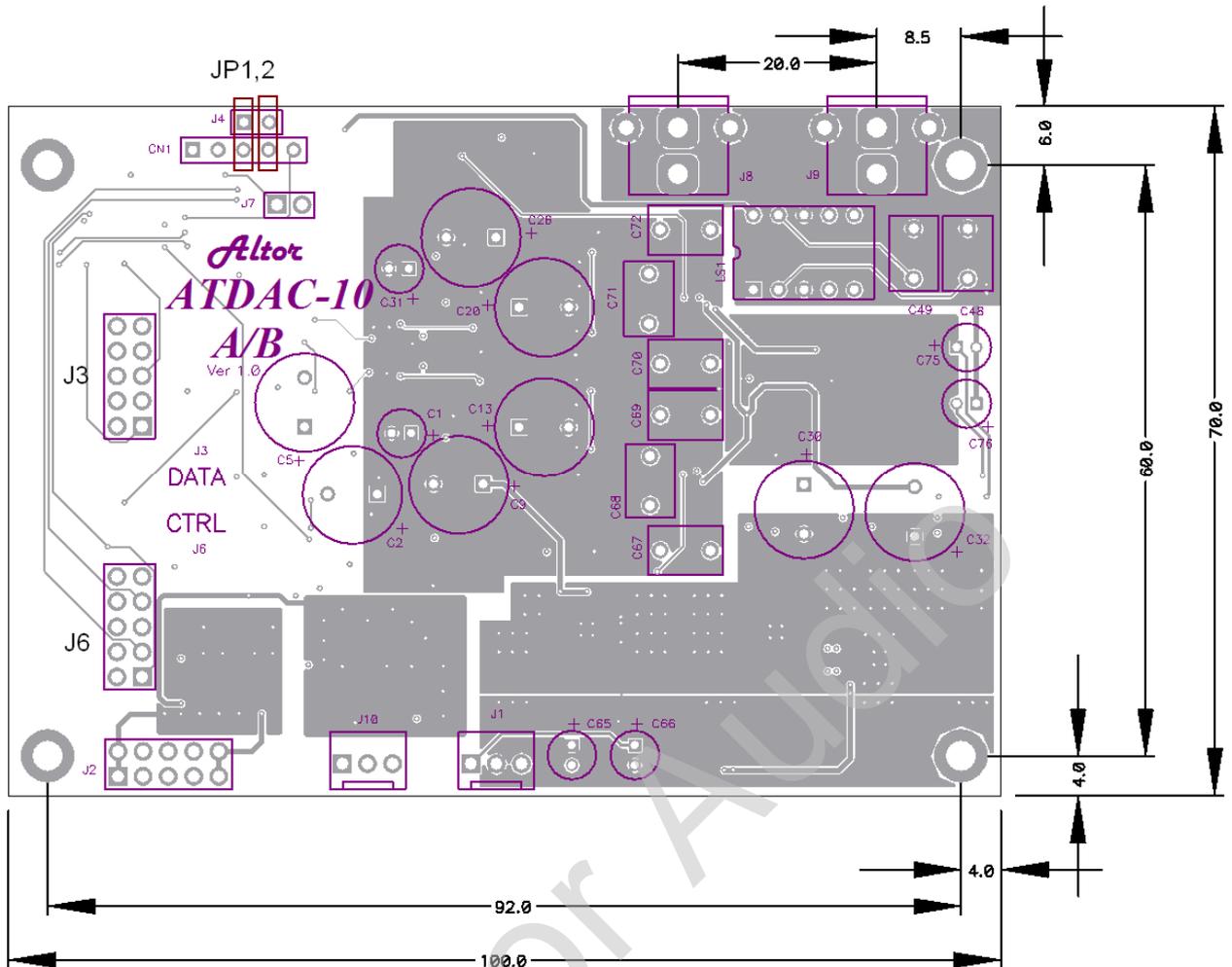
Тут надо сказать «спасибо» фирме Asahi Kasei – несмотря на глюки, ошибки/опечатки в даташитах, и просто недостаток информации в оных, они сделали хорошее дело – не только сделали на 90% совместимую цоколевку, но еще и разместили АК4490 в малогабаритном LQFP-48 pitch=0.5mm корпусе, который отлично вписался внутри более крупного LQFP-44 pitch=0.8mm корпуса АК4414. Это позволило сделать одну универсальную плату ATDAC10, которую можно собрать в двух вариантах:

- вариант А – Dual Mono на АК4414
- вариант В – АК4490.

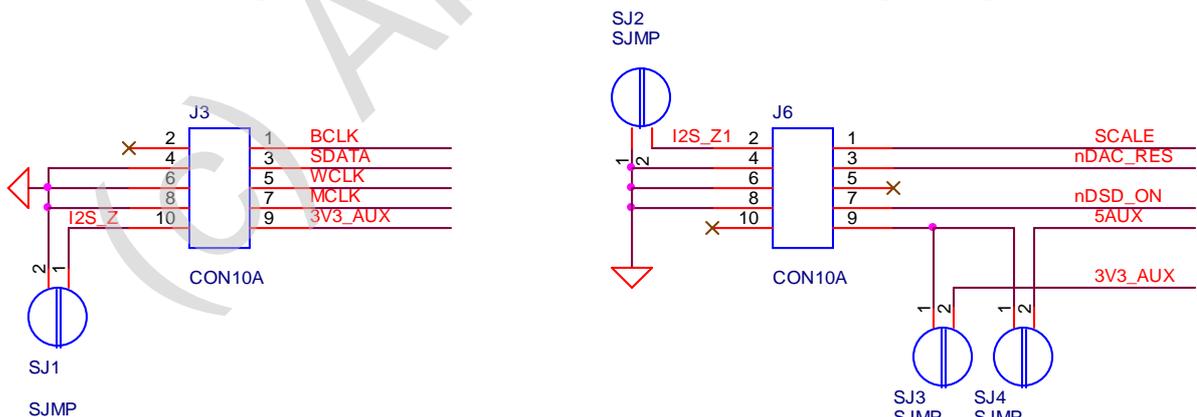
В свое время на Вегалабе была сделана попытка стандартизации разъемов для транспортов/ЦАПов. Но как обычно – договориться не получилось. К счастью позднее, мне, автору Раптора Анатолию Пархоменко (Wired) и автору Фламенко/Болеро Алексею Самсонову (Энергетик) удалось прийти к некоему «общему знаменателю», в результате чего отныне все наши изделия на 99% совместимы между собой по разъемам и сигналам, а оставшийся 1% легко «лечится» (как минимум – каплей припоя между двумя контактами разъема на плате). И ATDAC10 – первый мой ЦАП, соответствующий этим требованиям.

ATDAC10 собран на 4-х слойной печатной плате стандартной толщины (1.6мм), размером 100x70мм, с возможностью установки выходных RCA разъемов на плату с одной стороны, подключения источника сигналов с другой стороны. И источников питания и (опционально) модуля индикации – с третьей.

## Расположение разъемов и размеры платы:



Слева расположены разъемы для подключения транспорта:



### J3 – разъем данных.

На нем присутствует шина I2S, имеется напряжение +3.3 вольта для питания гальванической развязки. Сигнал I2S\_Z требуется некоторым транспортом, и может быть принудительно сделан «0» при помощи капли припоя на специальную контактную площадку на плате – SJ1.

### J6 – разъем управления.

Содержит сигнал переключения сеток частот 44x/48x SCALE (сигнал инверсный, 0 соответствует сетке 48x, а неподключенный сигнал соответствует сетке 44x).

Сигнал nDAC\_RES, он же сигнал nMute – блокировка ЦАП (нулем).

Сигнал nDSD\_ON – переключение PCM/DSD (DSD=0, PCM=1 или не подключен).

Сигнал I2S\_Z – см. выше. Может быть соединен с нулем площадкой SJ2.

Для удобства, на 9-ю ножку J6 может быть выведено питание +3.3в (через площадку SJ3), или +5в (через площадку SJ4).

В нижней части расположены разъемы для подключения индикации (J2), цифрового (J10) и аналогового (J1) питания.

В верхней части платы расположены выходные RCA разъемы (J8, J9), а также два джампера JP1, JP2 для переключения режима работы цифрового фильтра.

**Цифровое питание: 9-12В, потребляемый ток 0.1А (без модуля индикации).**

**Аналоговое питание: двуполярное, +/- 10-15В, потребляемый ток 0.1-0.15А, без нагрузки на выходе.**

Использование микросхем ЦАПов «по полной» требует их работы под управлением микроконтроллера (или ПЛИС). Без этого, часть возможностей реализовать нельзя (например – воспроизведение DSD). В данном проекте используется микроконтроллер фирмы Microchip, обладающий крайне низкими излучаемыми помехами (radiated) а благодаря малому потреблению – помехи по питанию (conducted) также крайне малы. Для переключения различных режимов, микроконтроллеру необходимо знать в каком формате поступают входные данные, для чего он измеряет частоту сигнала BCLK.

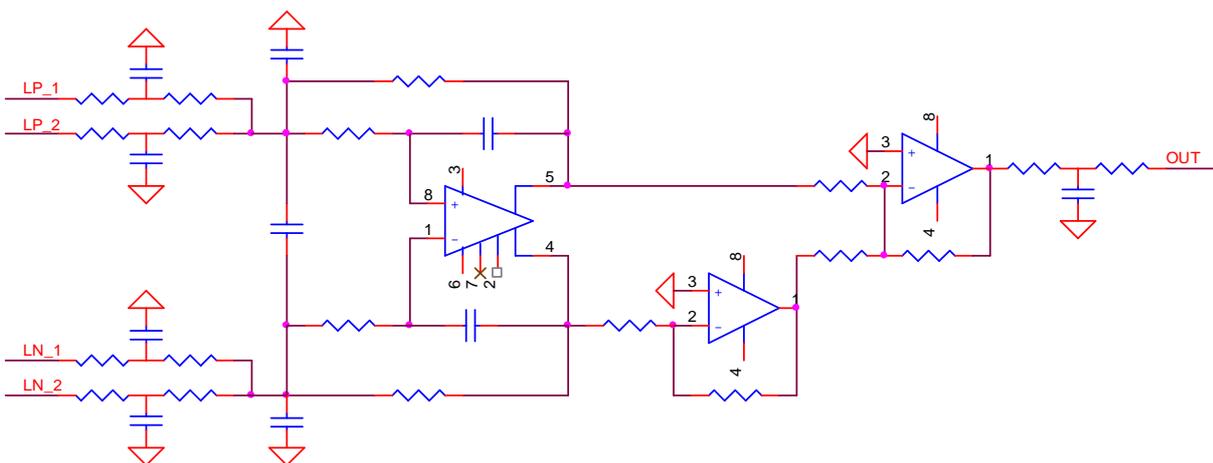
Переключение PCM/DSD также сеток часто 44х/48ч производится по внешним сигналам с транспорта. Также с транспорта может использоваться сигнал блокировки ЦАПа (Mute).

Входной формат может быть выведен на 4-х символьный светодиодный индикатор, построенный полностью на статических элементах (т.е. не создающий помех), если используемый транспорт не имеет своей индикации. Тут надо упомянуть об одном недостатке – поскольку измеряется частота BCLK а не WCLK, а некоторые китайские транспорты (в основном это CM6631) в формате 44/48 выдают BCLK с частотой не  $64 \cdot WCLK$  а  $128 \cdot WCLK$ , то микроконтроллер будет это воспринимать не как 44/48 а как 88/96. Впрочем, поскольку режимы ЦАП в этих форматах одинаковы, кроме как не индикацию это никак не повлияет. Особенно, если Вы ее не используете J

### Описание схемы:

Сигналы шины I2S подаются непосредственно на микросхему ЦАП, а также на микроконтроллер. Микроконтроллер управляет ЦАПом по шине SPI. Включение самих микросхем ЦАП несколько отличается от даташитных – здесь применен так называемый “Active Drive” для питания референсных входов. Это уменьшает искажения на низких частотах без применения конденсаторов очень большой емкости (см. рис.29 THD+N vs. Frequency в даташите AK4414).

Микросхема ЦАП имеет четыре (Вариант «А») или два (Вариант «В») дифференциальных выхода в каждом канале. В варианте «А» дифференциальные выходы каждого канала соединяются параллельно. Далее стоит дифференциальный усилитель, на базе Full Differential Amplifier (FDA), совмещенный с фильтром низких частот. Для преобразования дифференциального сигнала в не дифференциальный, один из выходов FDA инвертируется и складывается с другим выходов FDA в выходном каскаде:



Такое построение, по сравнению с обычным, поголовно применяющимся в выводном каскаде дифференциальном усилителе на одном ОУ, позволяет использовать все ОУ только в инвертирующем включении, обладающем меньшими искажениями за счет отсутствия модуляции синфазного сигнала.

Также особенностью данной схемы, является то, что на вход смещения FDA подано буферизированное напряжение со «средней точки» ЦАПа.

В результате – все используемые в схеме FDA и ОУ, за исключением выходного каскада всегда работают в одной полярности. Сигнал на их выходах никогда не пересекает уровень 0в. Другими словами – все ОУ кроме выходного, работают в режиме Single End (SE Class A).

На выходе выходного каскада стоит стандартный Т-фильтр, развязывающий выход ВК от емкостной нагрузки в виде кабеля, а также препятствующий попаданию ВЧ наводок с кабеля в схему.

Для предотвращения щелчков при переходных процессах и при отсутствии сигнала, выход замыкается на землю при помощи реле.

В схеме предусмотрена регулировка на выходе ЦАПа, но это было скорее перестраховкой – в обоих вариантах, постоянное напряжение на выходах не превышает 3-х милливольт при отключенной регулировке. Так что, думаю от нее можно смело отказаться (просто не устанавливать два потенциометра и несколько резисторов на плату).

Номинальное выходное напряжение (0dBFS) – 2 V RMS.

(C) Altor Audio





Далее показаны различные измерения. Спектральные характеристики сняты программой SpectraPlus 5.0.27.5 при помощи АЦП Altor "ONYX".

Питание ЦАП – лабораторный блок питания Tektronix PS-280.

Испытательные сигналы подавались с тестового генератора Altor JK-GEN 384/12, за исключением графика THD+N vs. Frequency, для которого сигнал подавался с компьютера, через USB-интерфейс Altor xVeloci.

Входное сопротивление используемого АЦП – 3.5 кОм. Таким образом, характеристики измерены при достаточно серьезной нагрузке на выходной каскад, что позволяет впоследствии нагружать выход данных устройств непосредственно на регуляторы громкости небольшой величины (5-10кОм) без риска увеличения искажений.

Управление цифровым фильтром выведено на два джампера JP1 JP2:

JP1 – normal (без джампера) /short (с джампером) delay.

JP2 – sharp (без джампера)/ slow (с джампером) roll-off.

Таким образом, возможно четыре варианта (0 – без джампера. 1 – с джампером) работы фильтра:

00 – sharp roll-off.

10 – short delay sharp roll-off

01 – slow roll-off

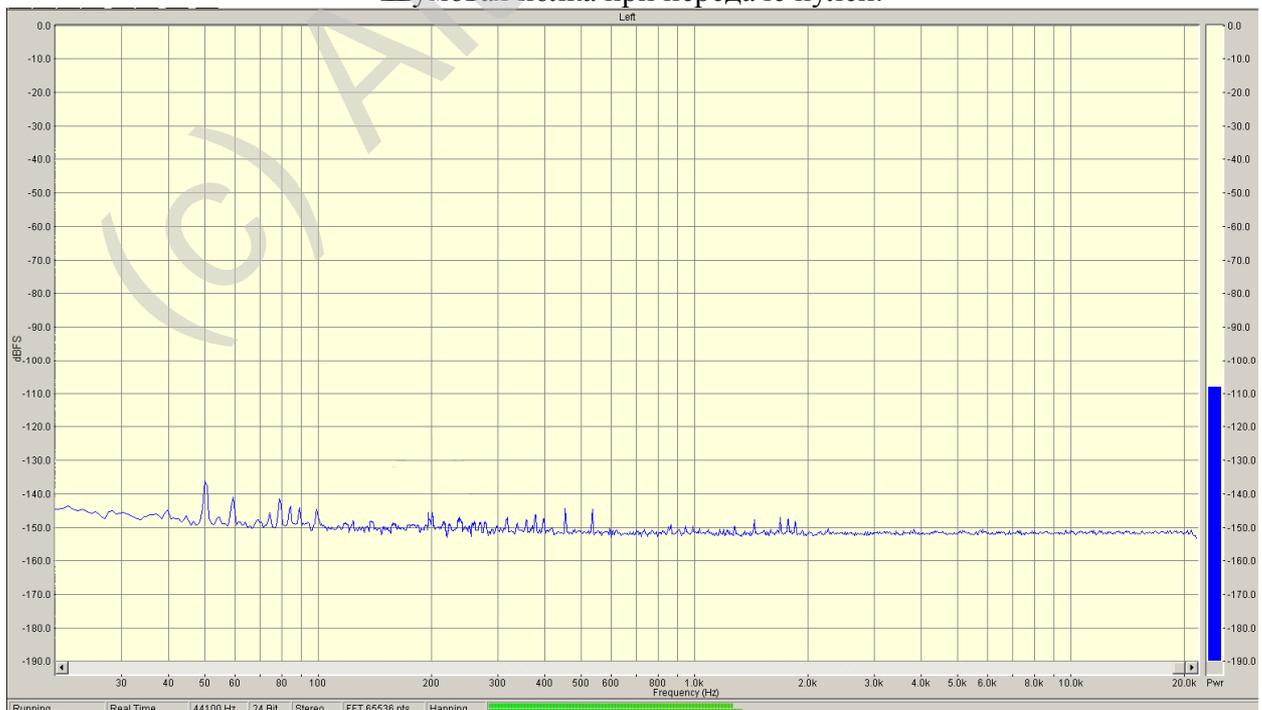
11 – short delay slow roll-off

Ниже показано, как это влияет на частотные и импульсные характеристики. Замечу сразу – у обоих вариантов они практически одинаковые, поэтому не везде представлены абсолютно все варианты для обоих ЦАПов.

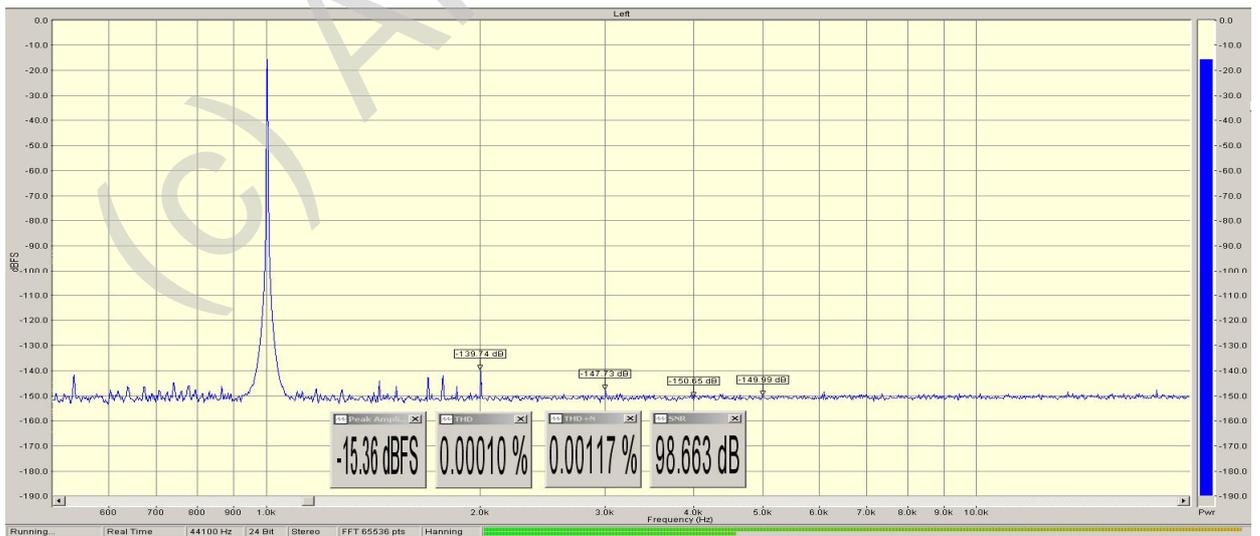
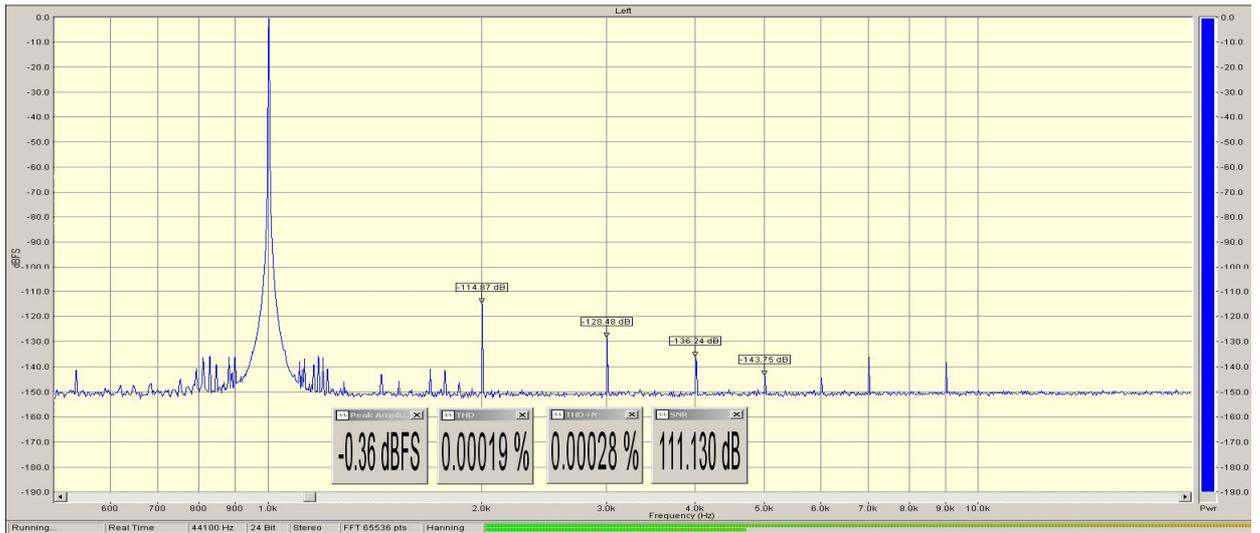
### ATDAC-10A (Dual Mono AK4414)

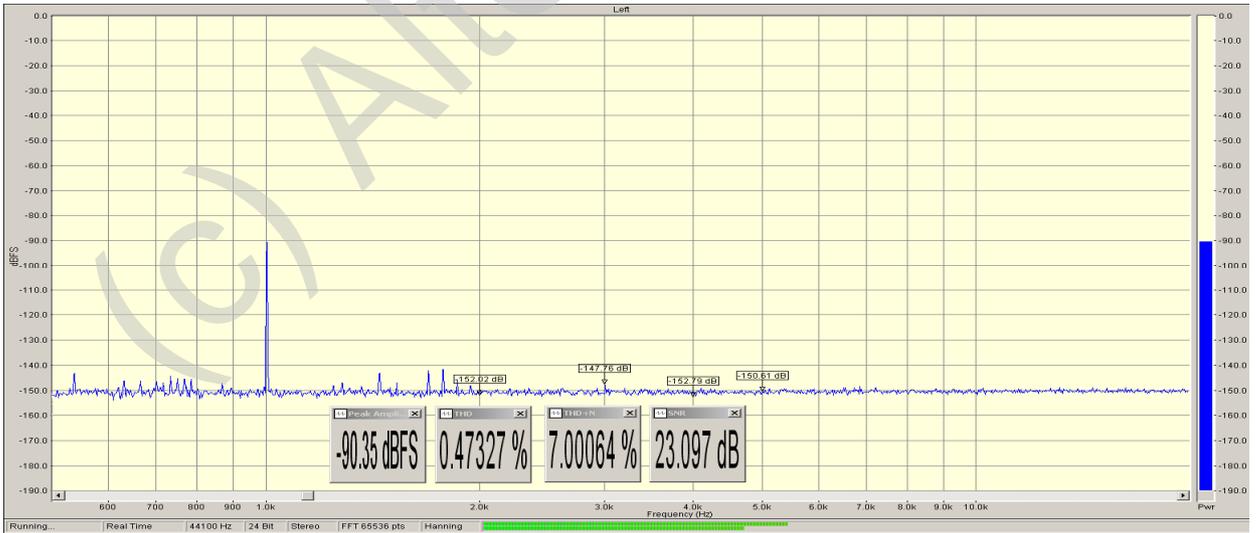
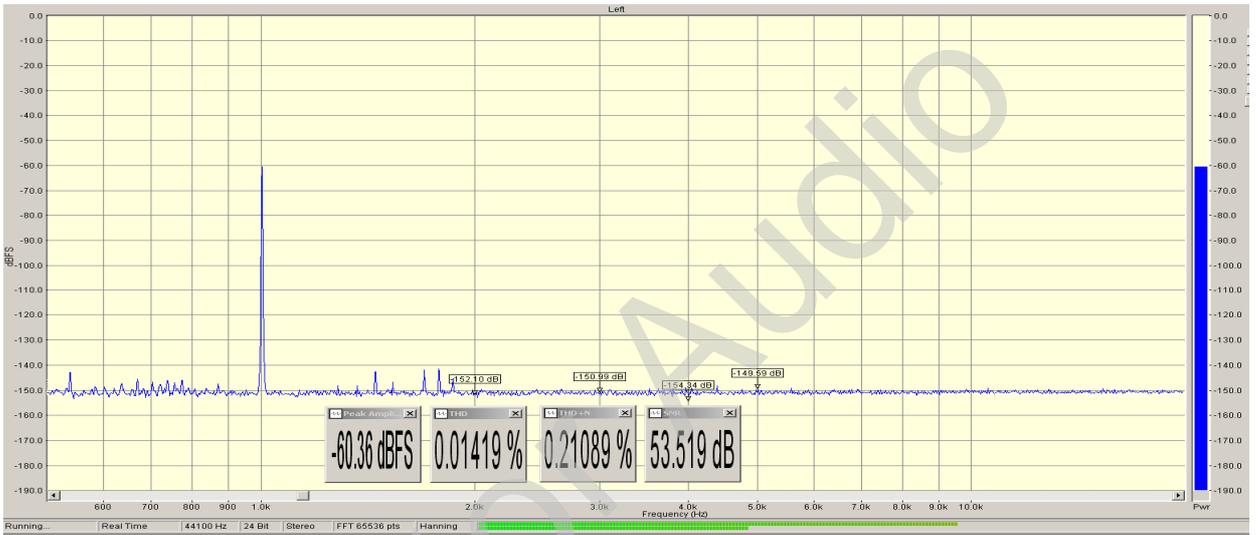
FS=44.1kHz:

Шумовая полка при передаче нулей:

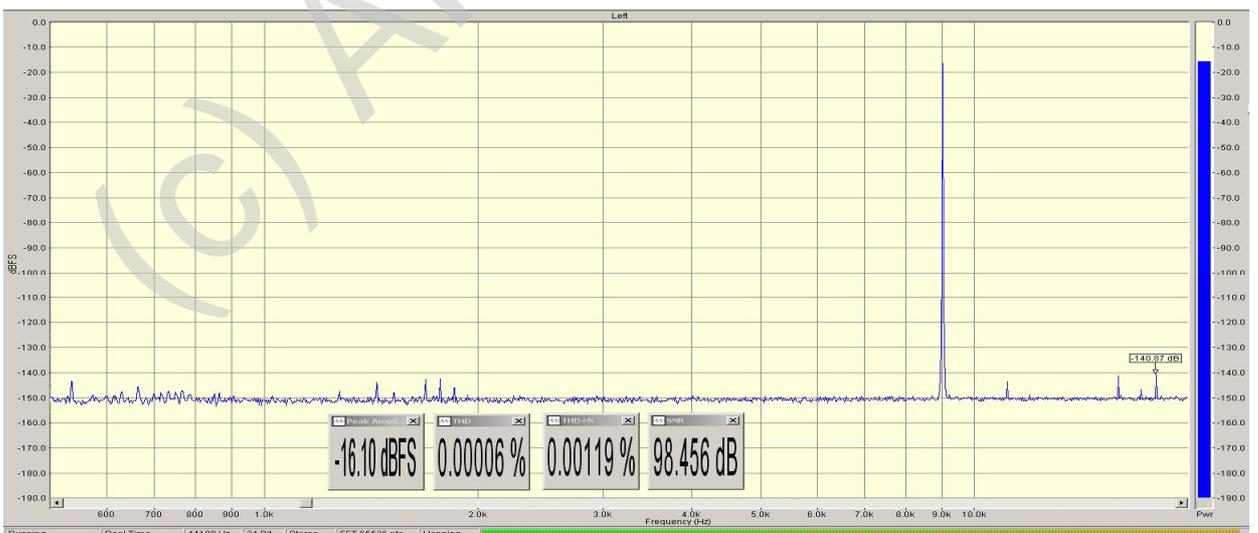
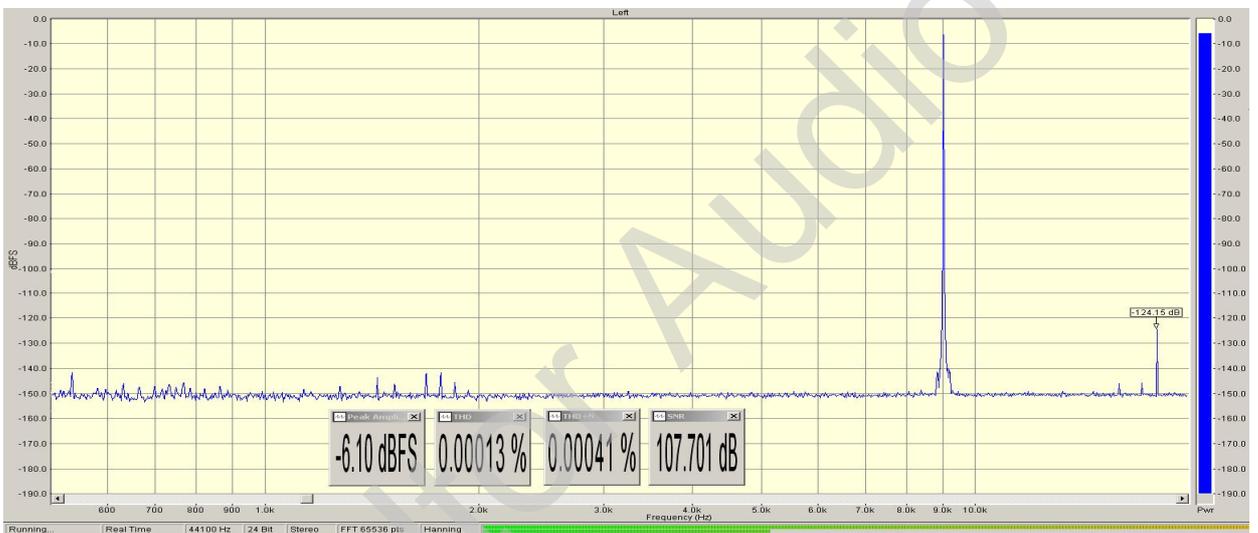
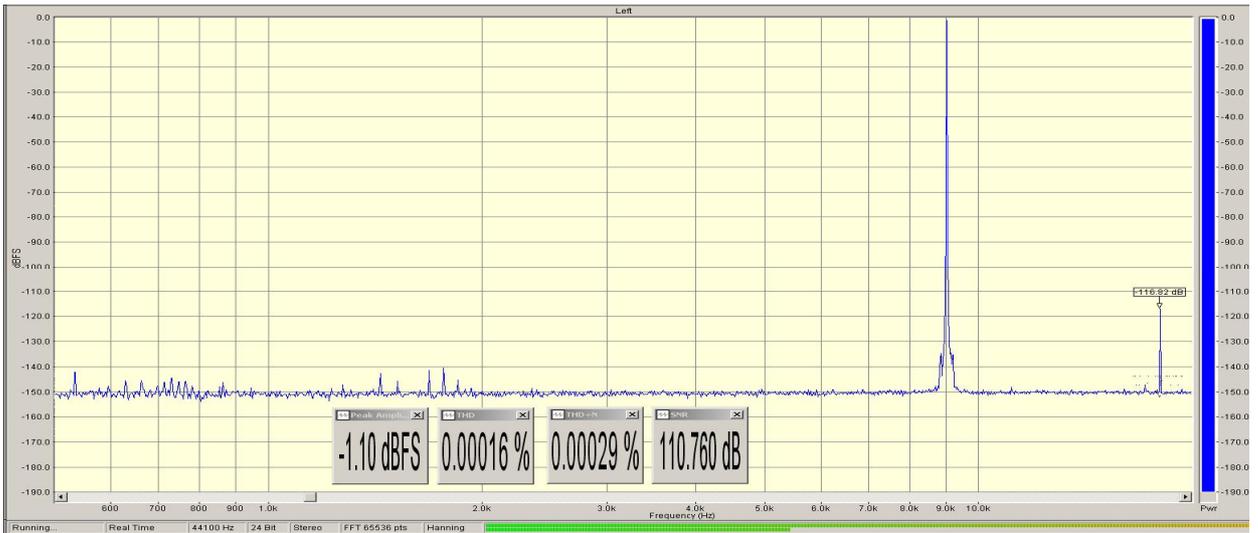


# Сигнал 1кГц с различными уровнями:

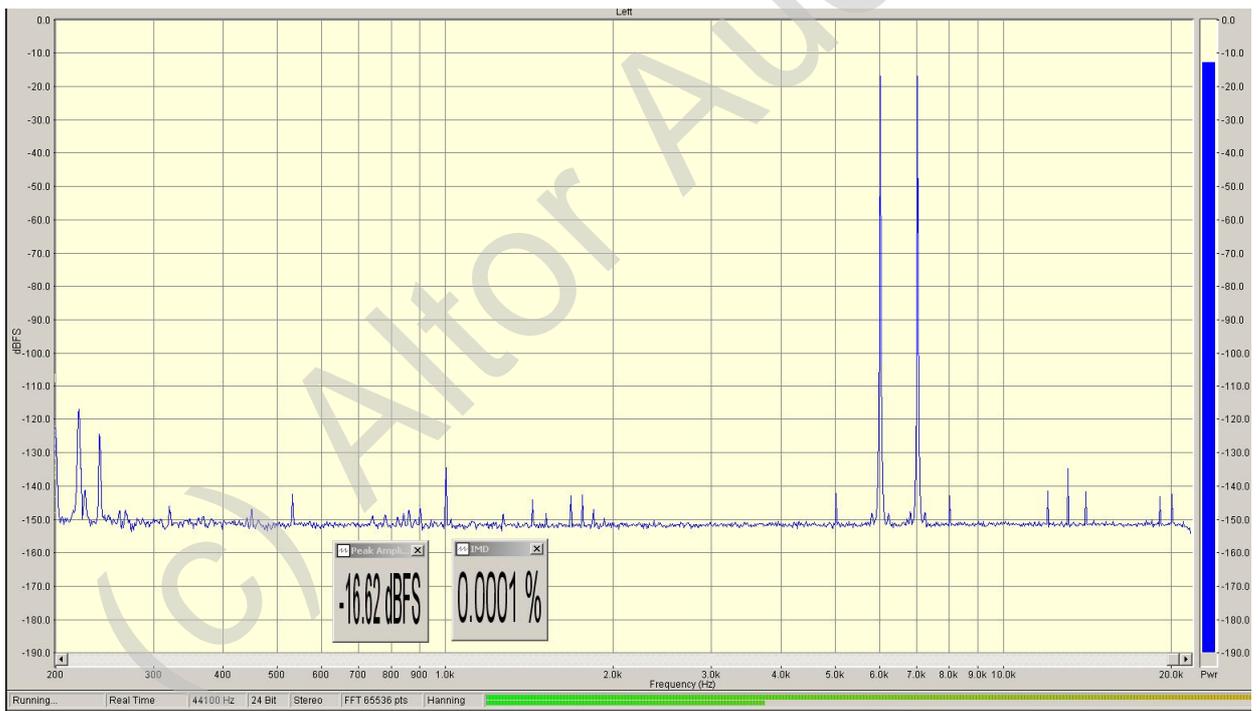
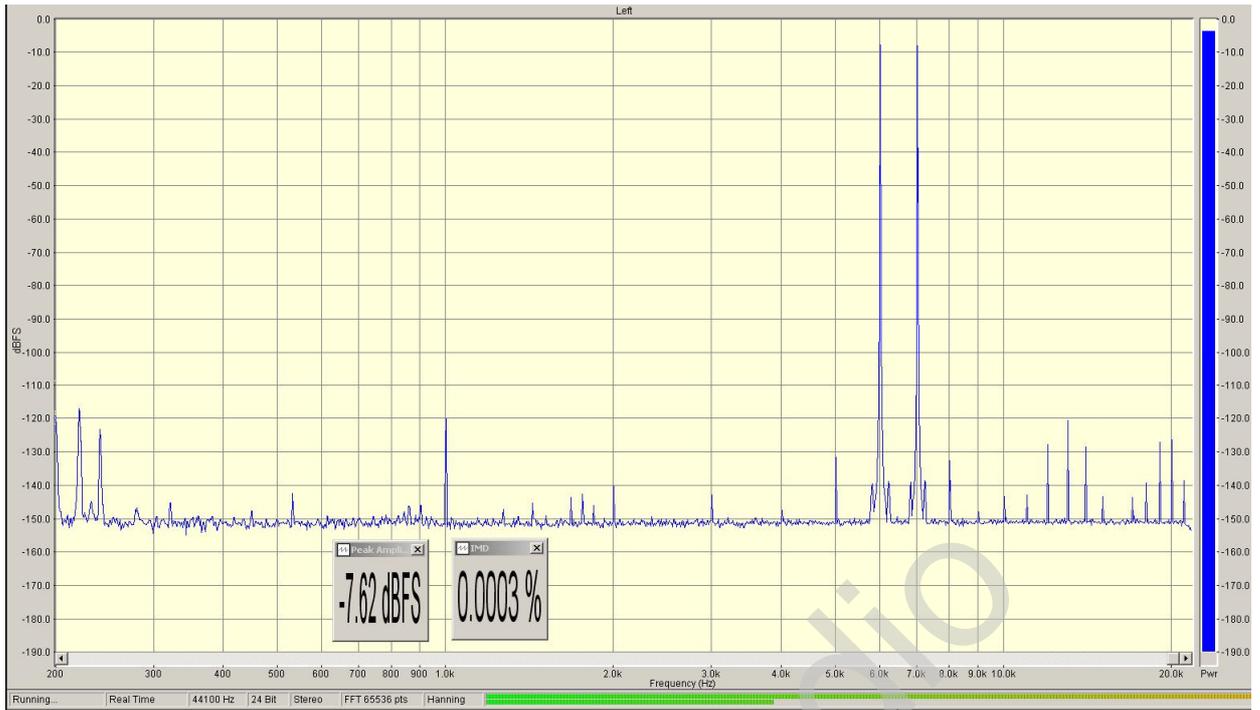


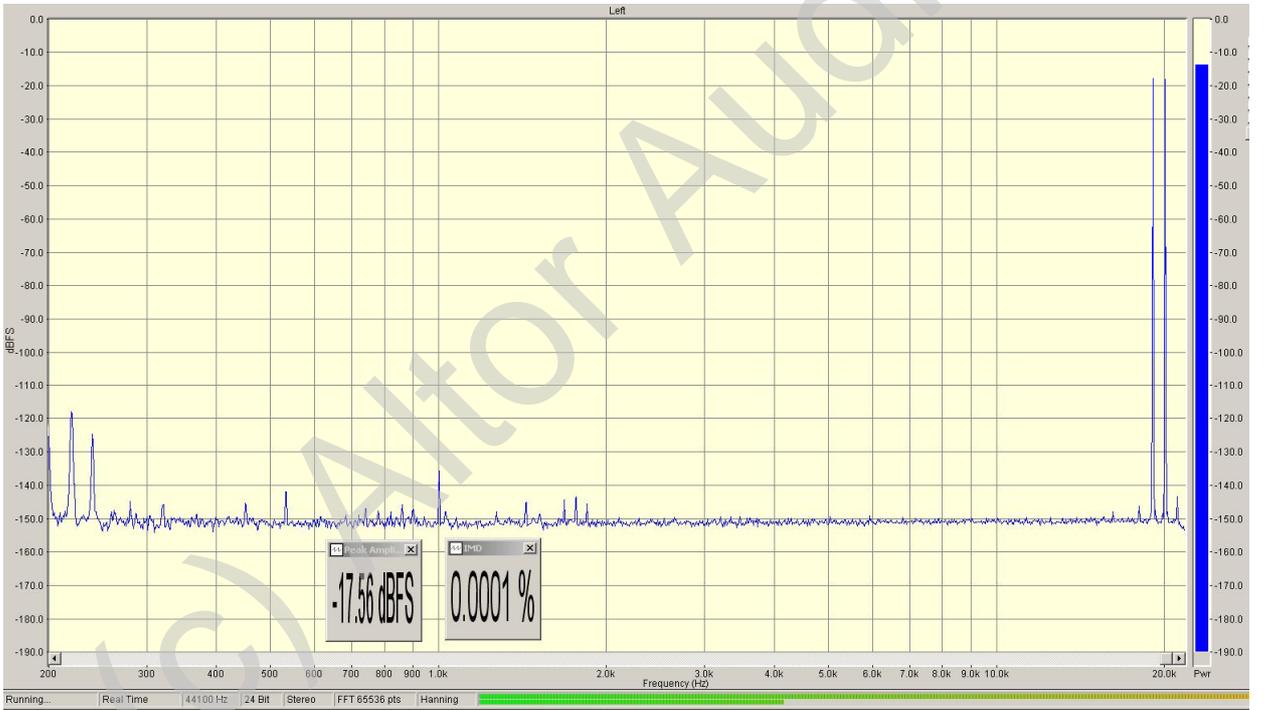
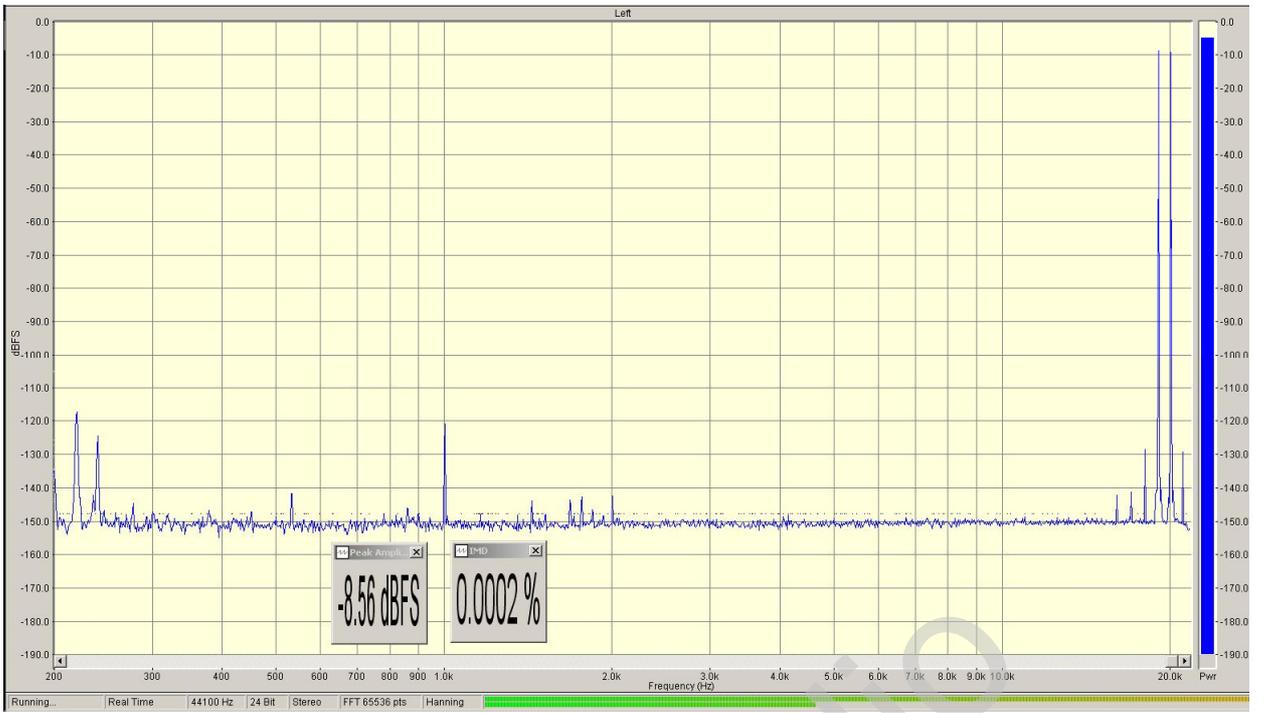


# Сигнал 9кГц с различными уровнями:



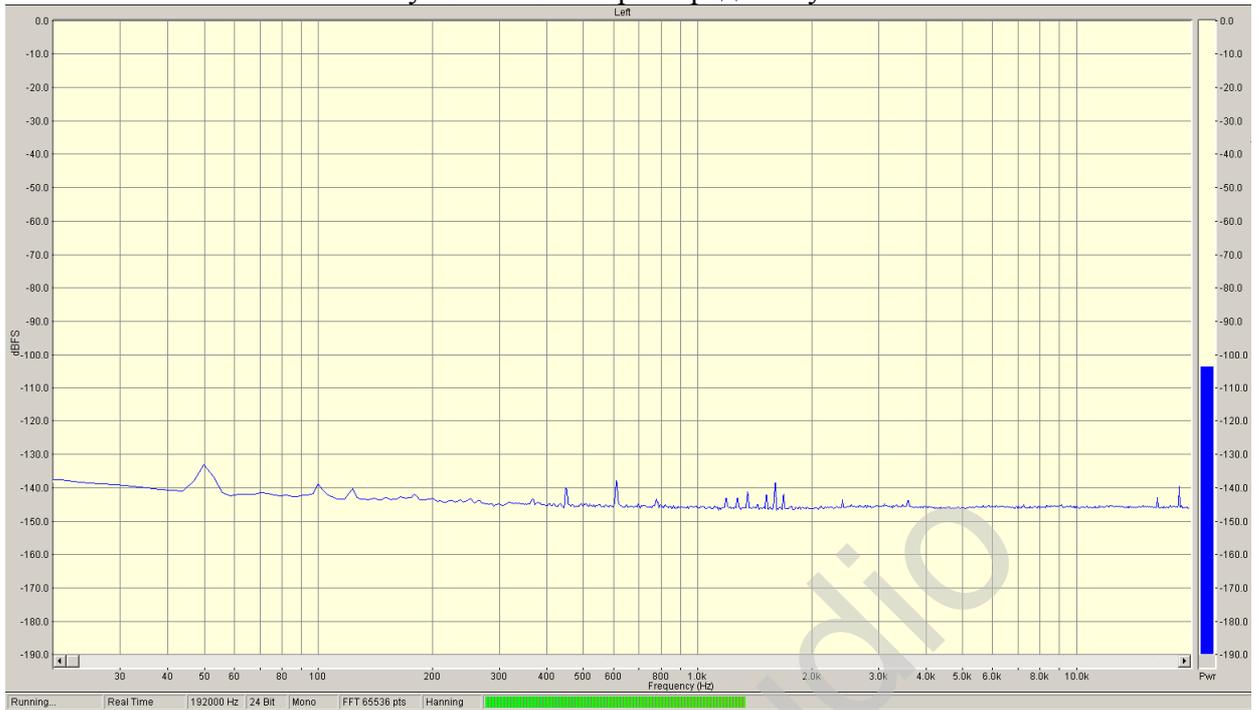
# Интермодуляционные искажения:





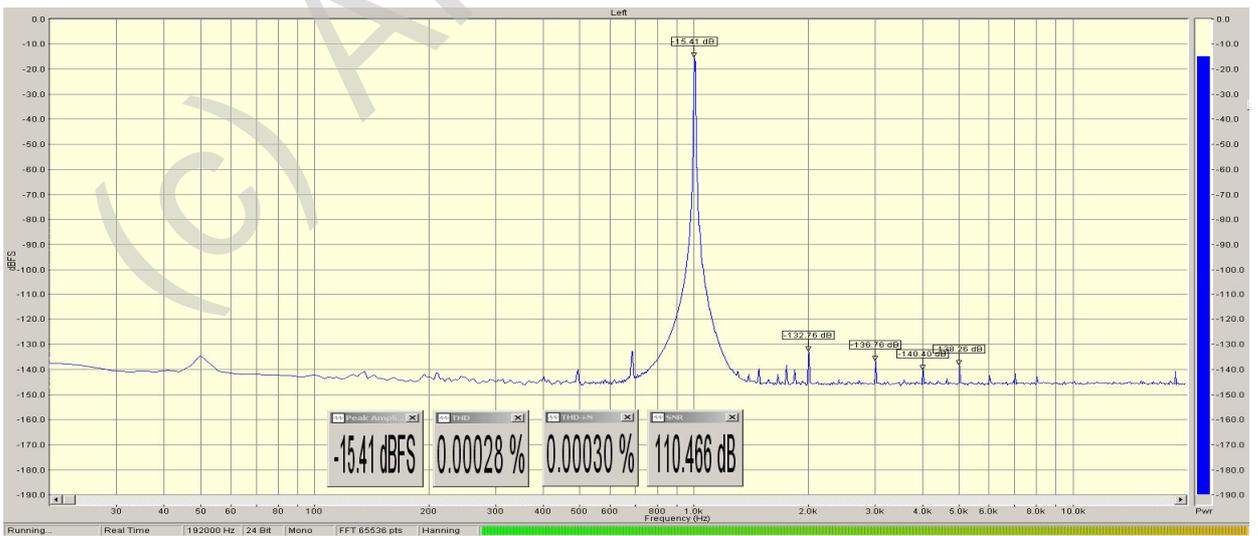
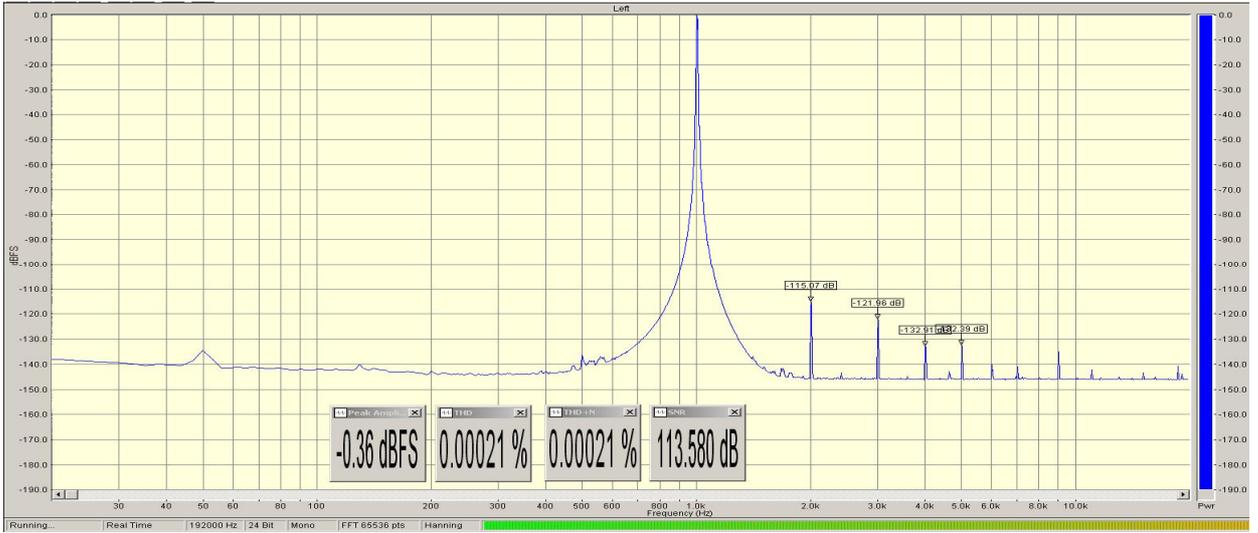
FS=176kHz:

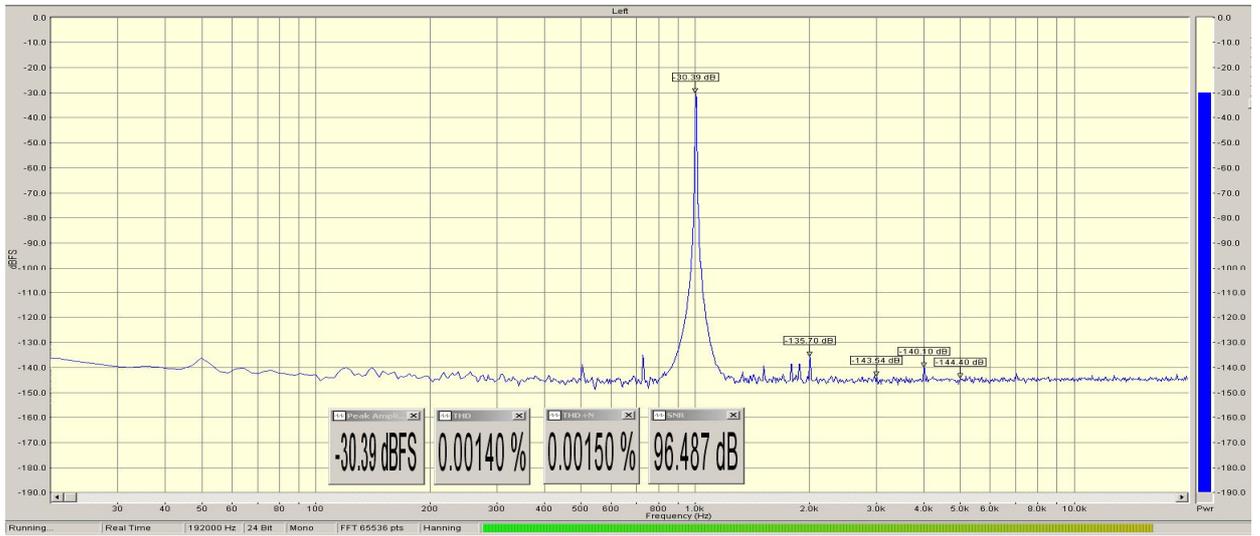
Шумовая полка при передаче нулей:



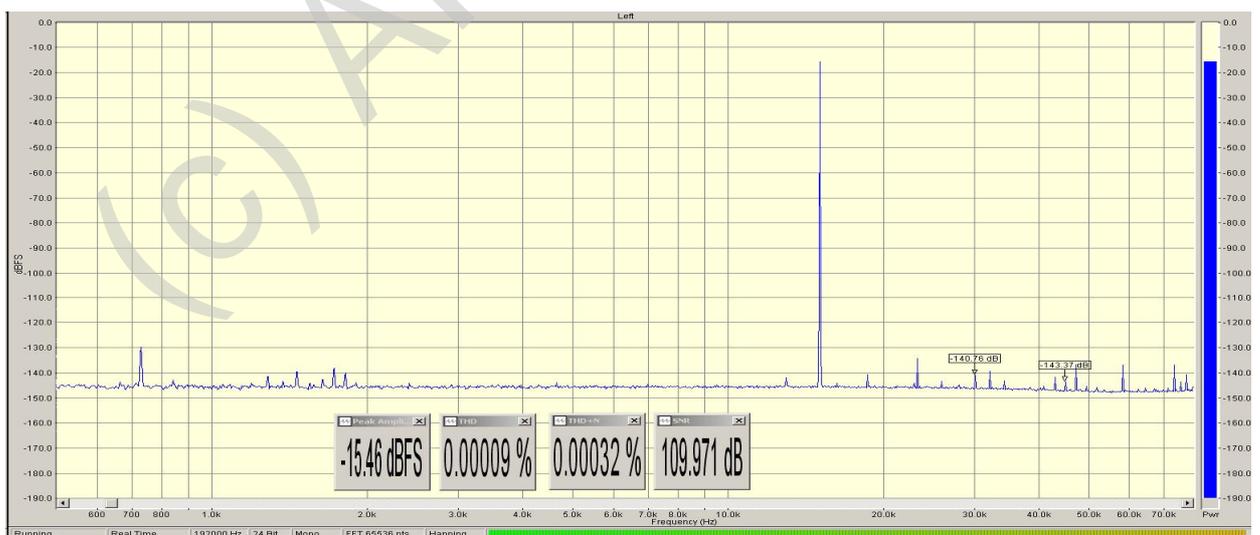
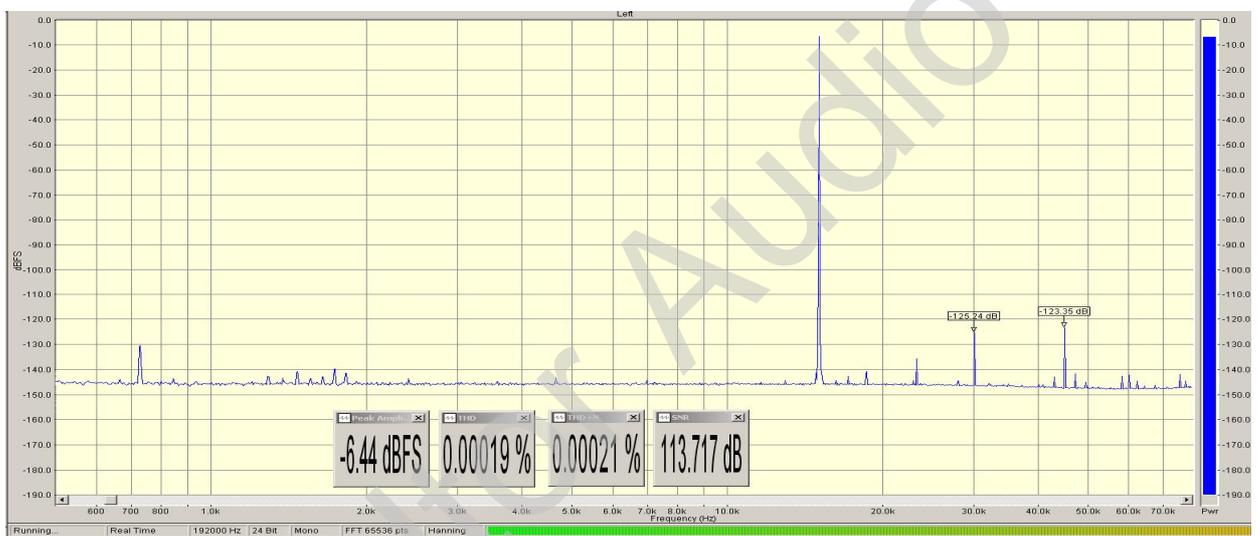
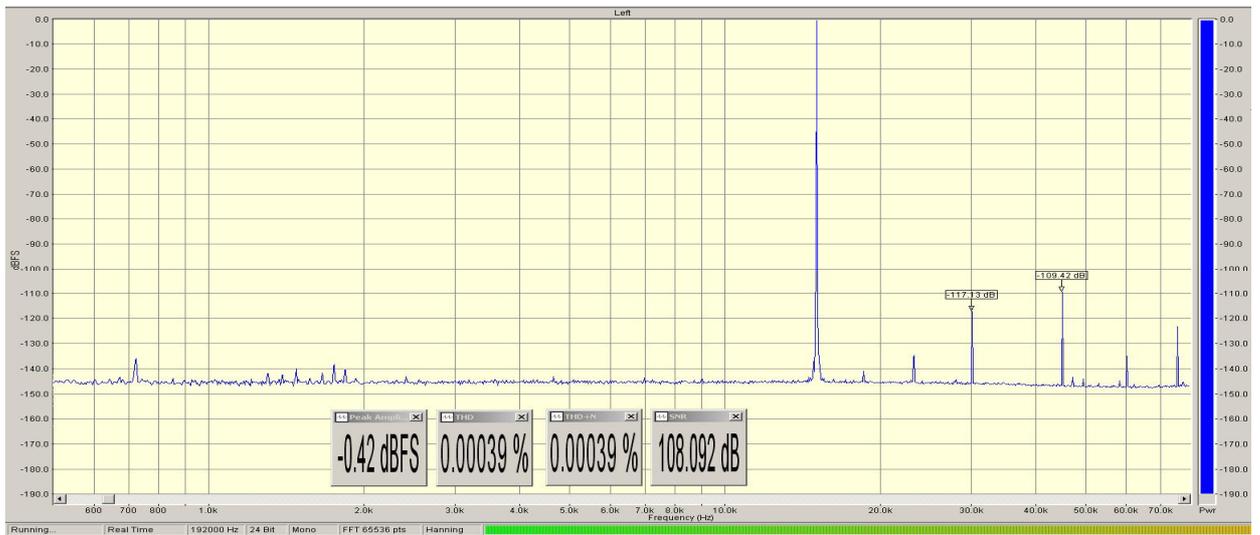
(c) Altor Audio

# Сигнал 1кГц с различными уровнями:

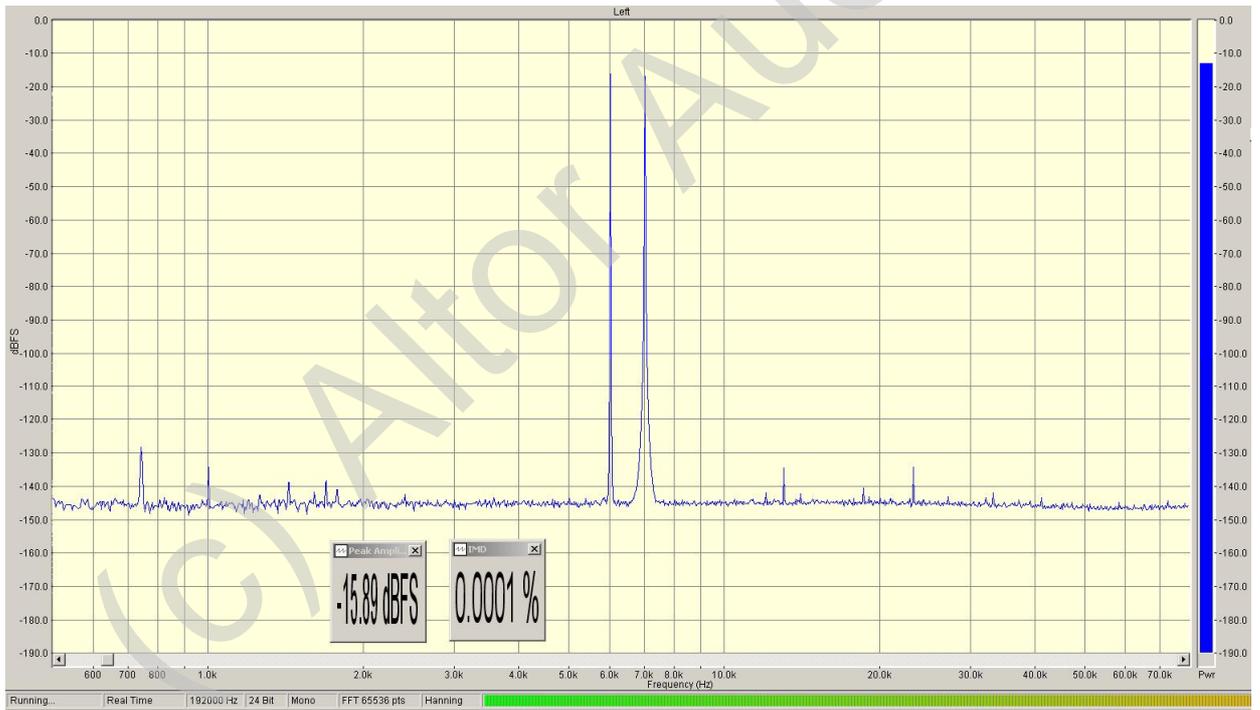
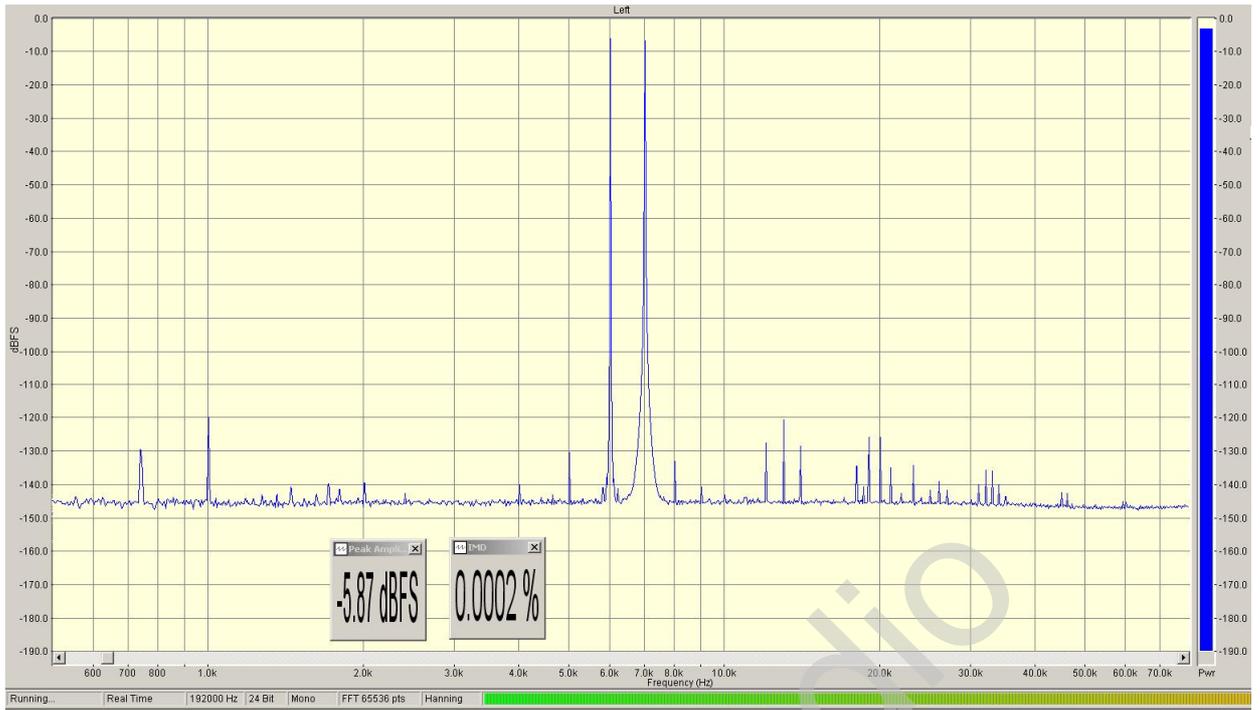


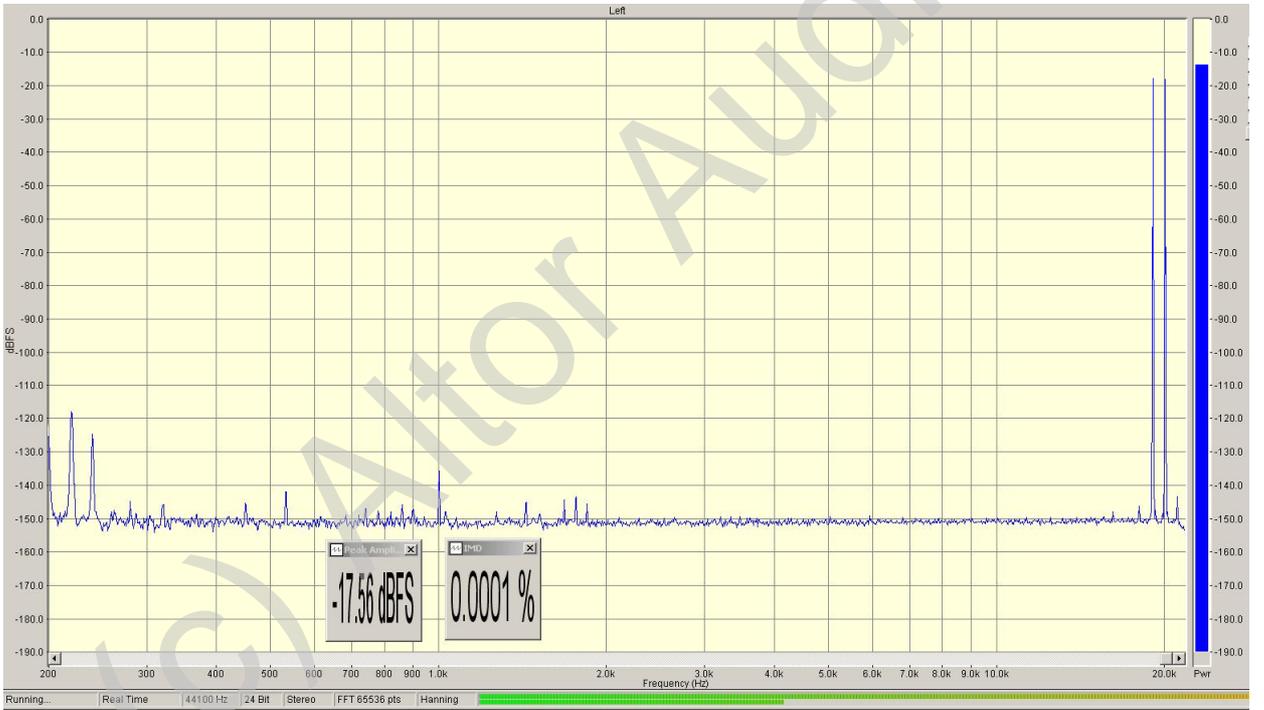
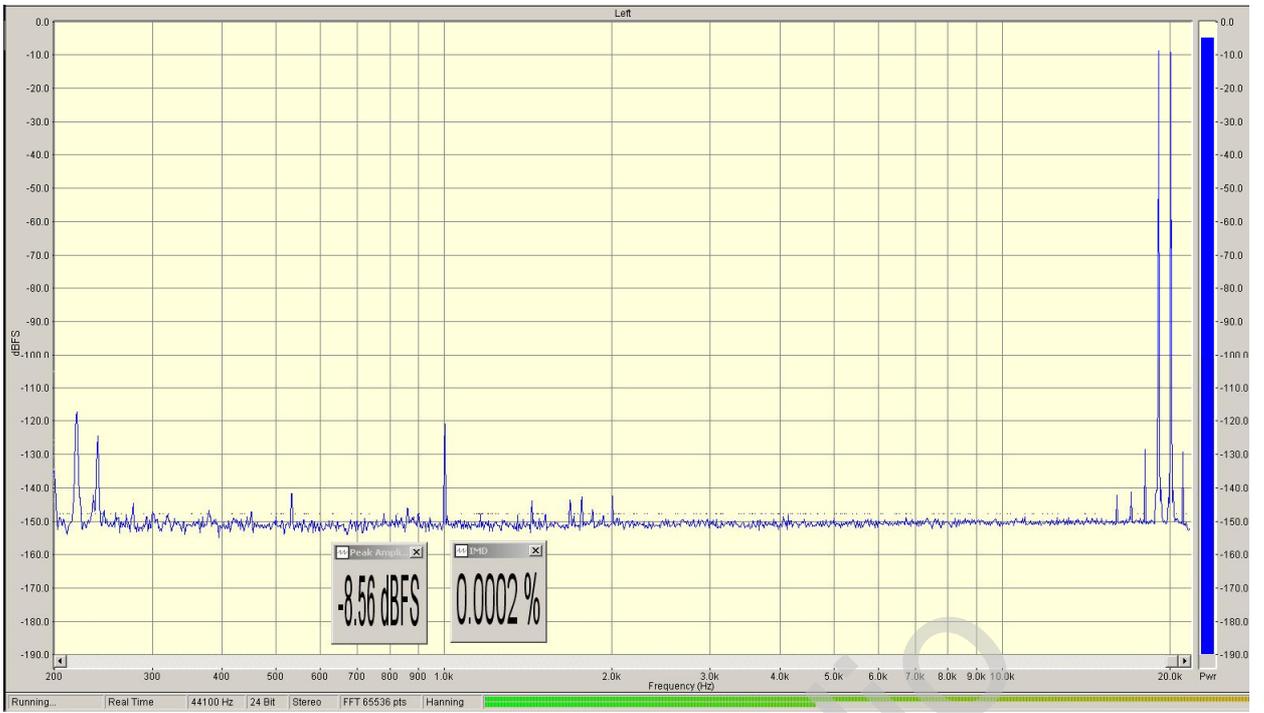


# Сигнал 15кГц с различными уровнями:



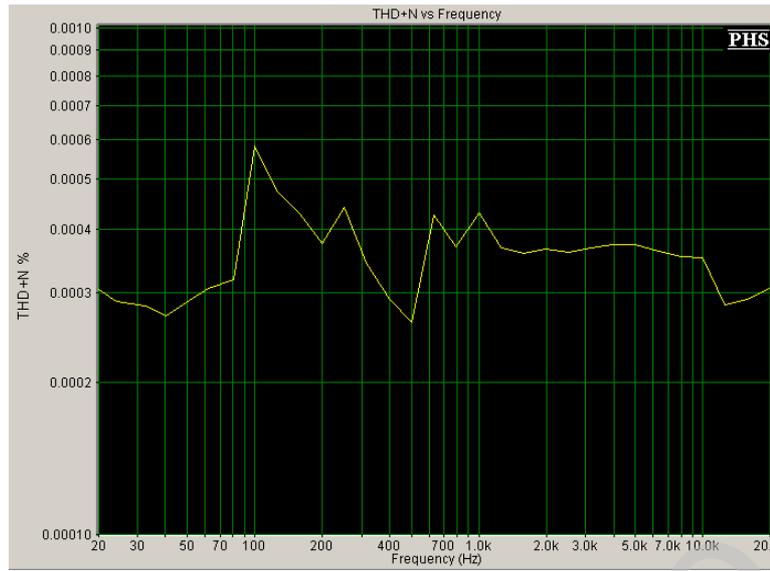
# Интермодуляционные искажения:



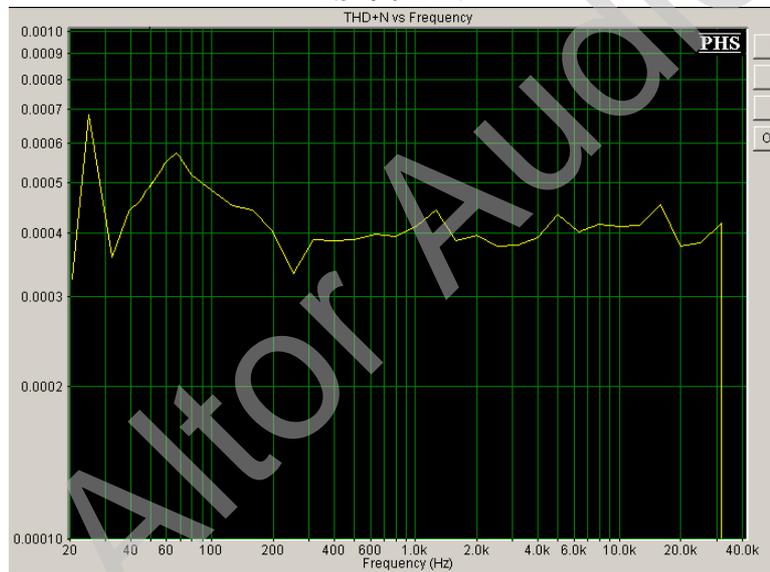


# Зависимость искажений от частоты:

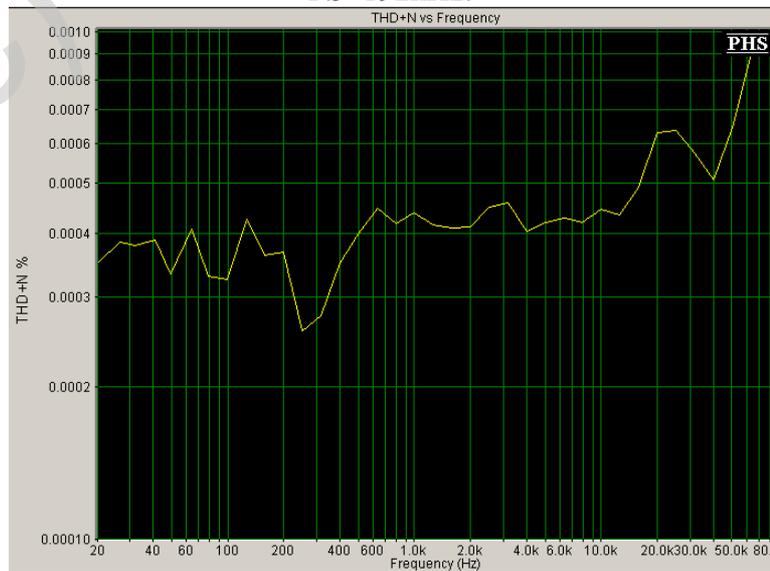
FS=44.1kHz:



FS=96kHz:

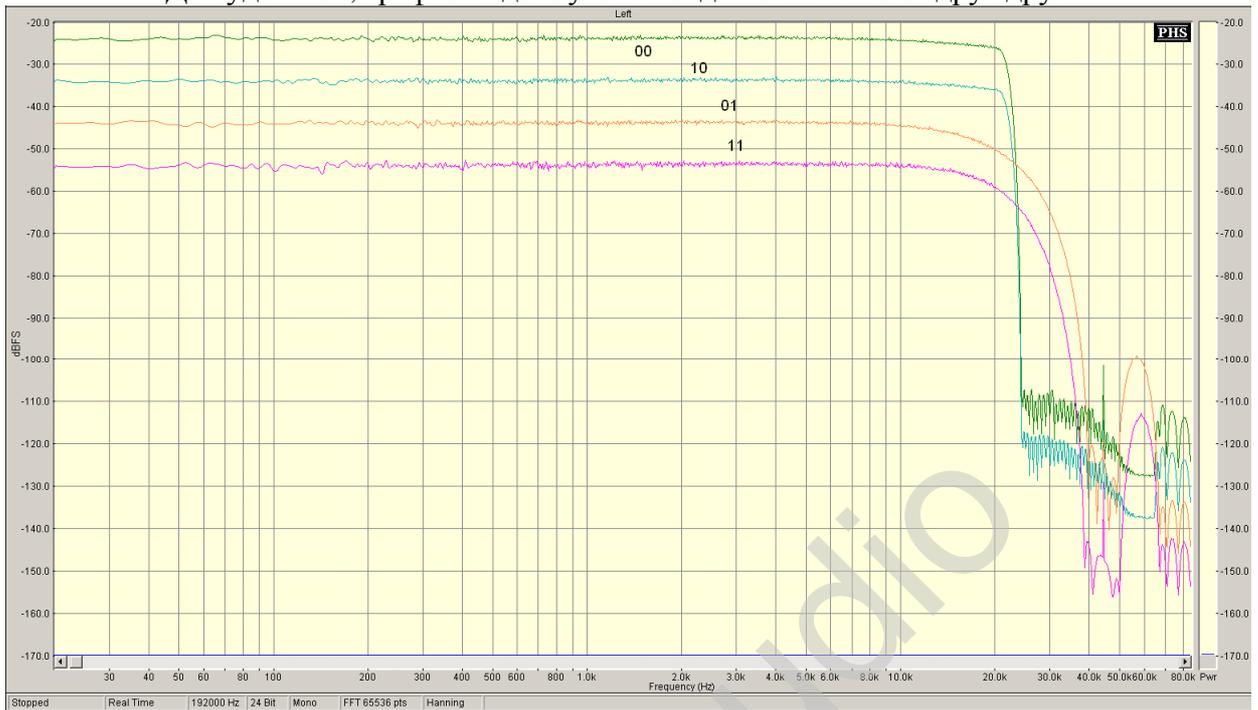


FS=192kHz:

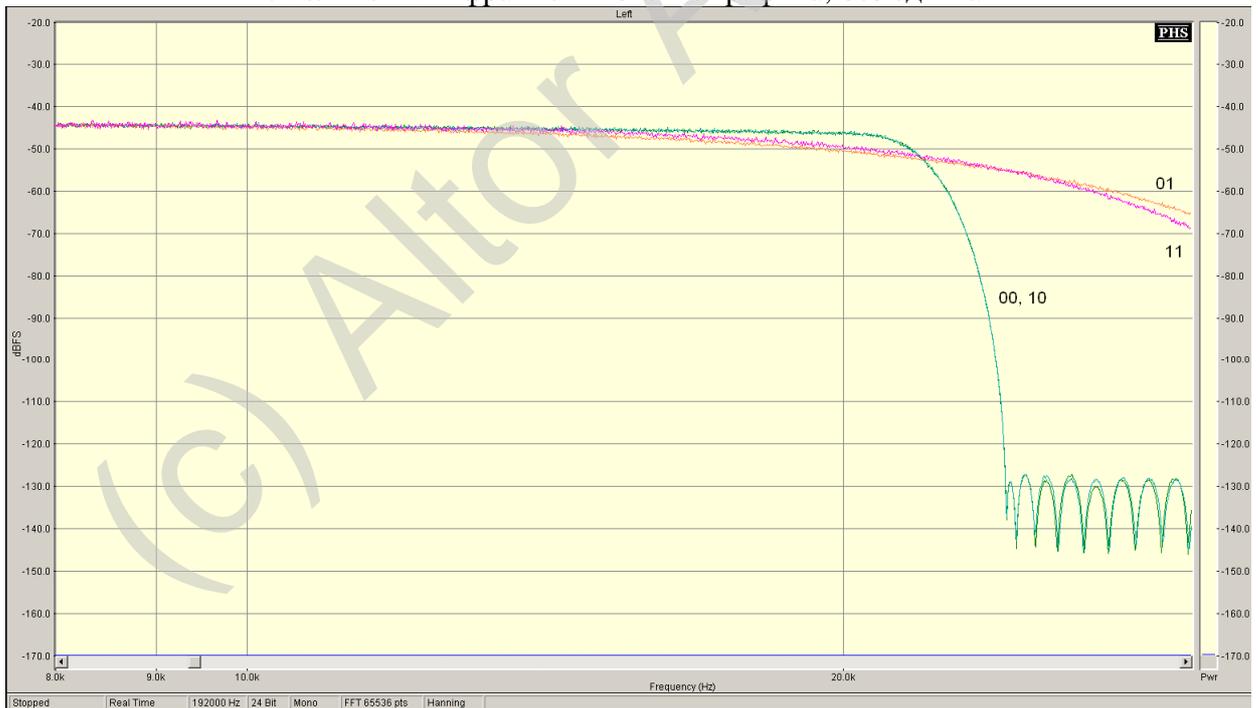


Частотные характеристики при  $F_s=44.1\text{kHz}$  для различных установок ЦФ:

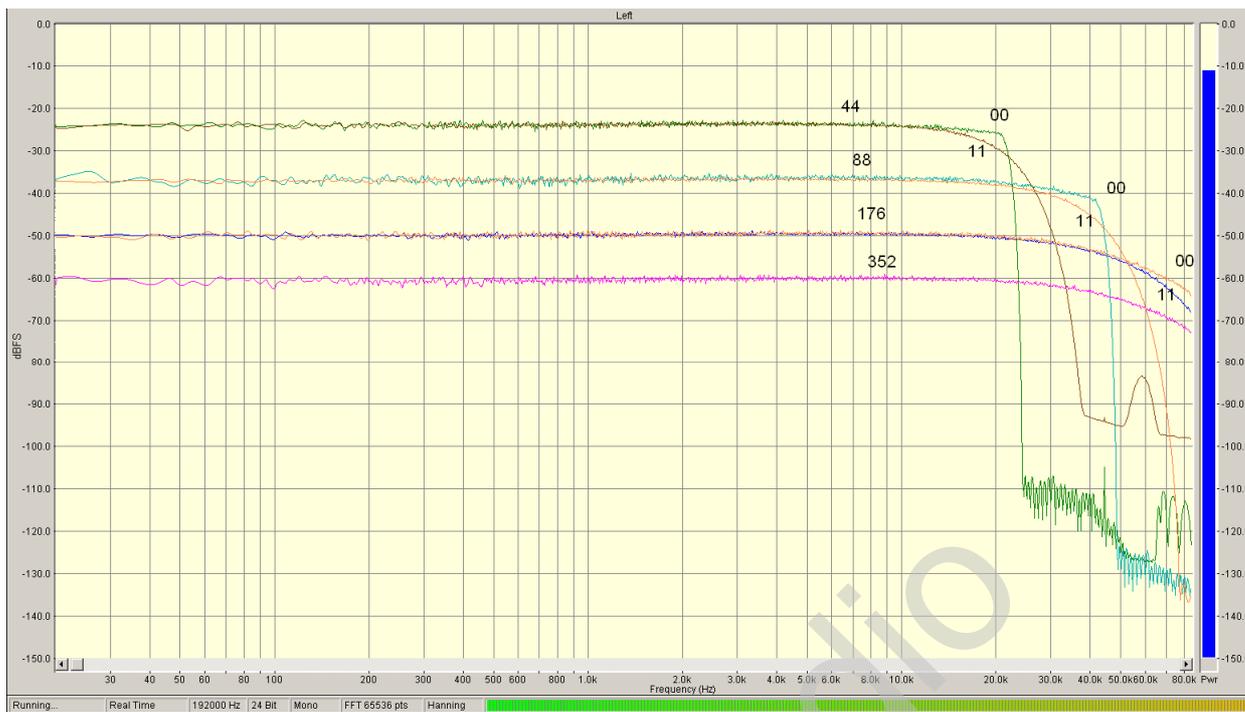
Цифры 00, 10, 01, 11 соответствуют установке джамперов JP1, JP2.  
Для удобства, графики сдвинуты на 10дб относительно друг друга.



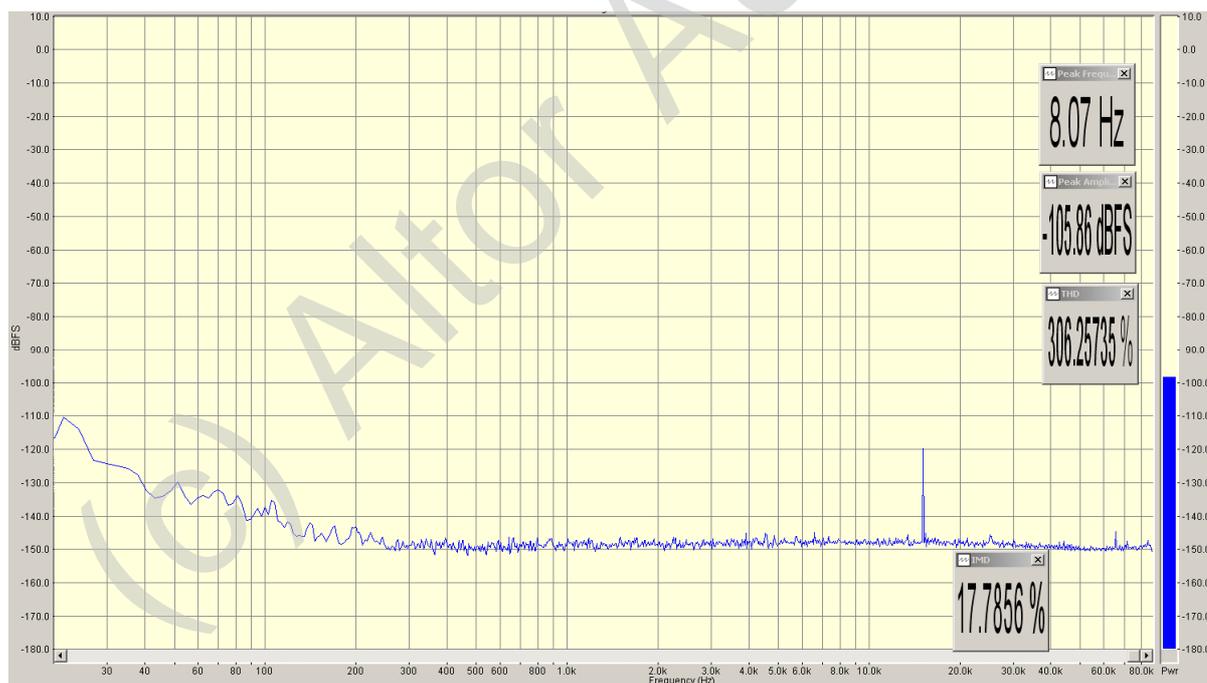
Увеличенный фрагмент того же графика, без сдвига:



# Частотные характеристики при различных $F_s=44.1\text{kHz}$ при крайних установках ЦФ:



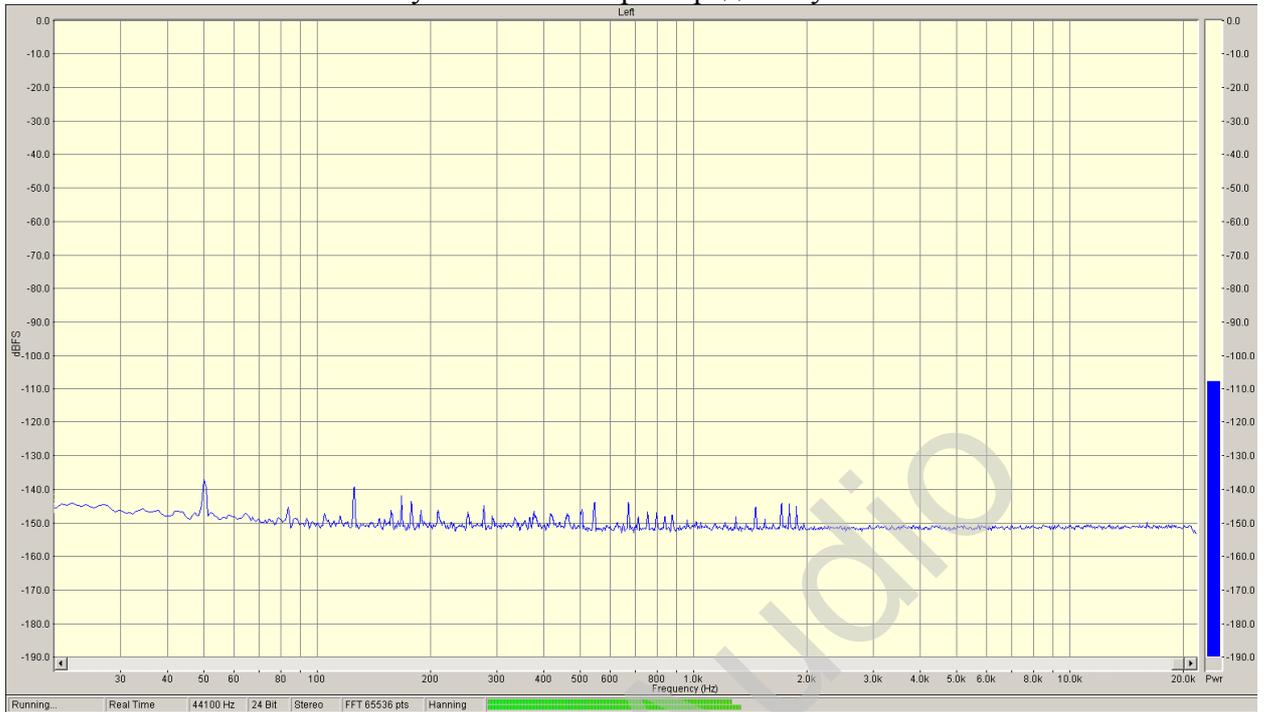
## Переходное затухание между каналами на частоте 15 кГц:



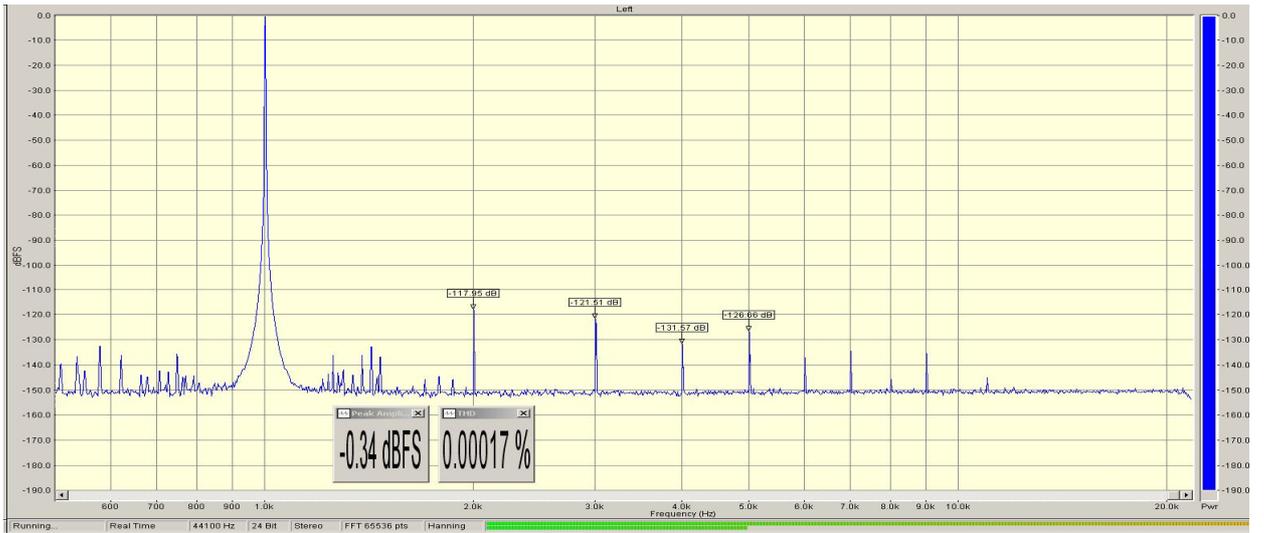
# ATDAC-10B (AK4490):

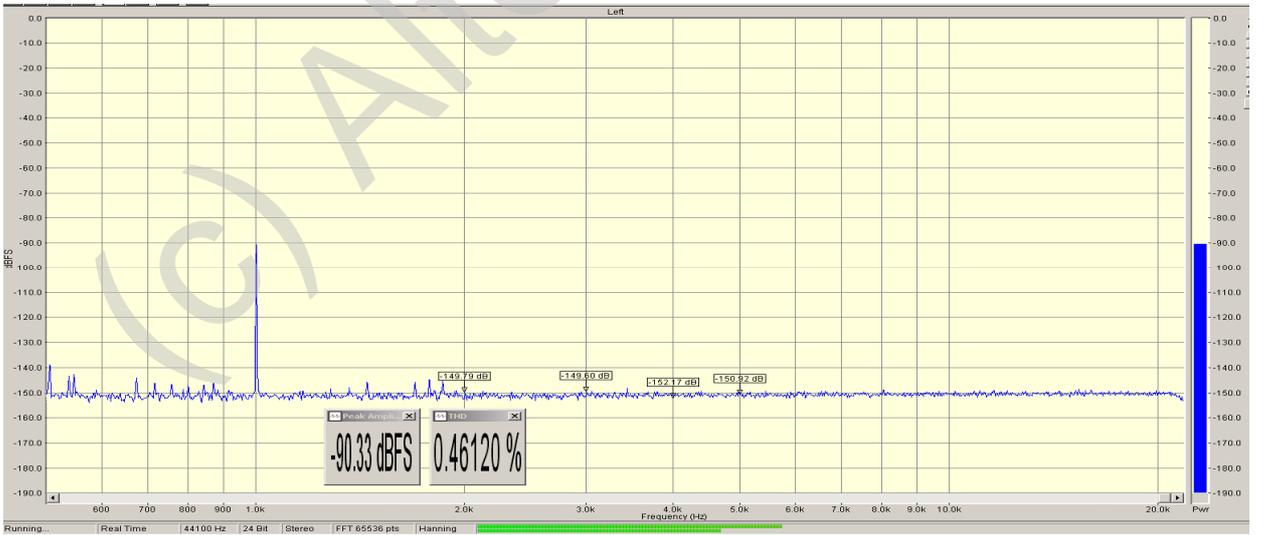
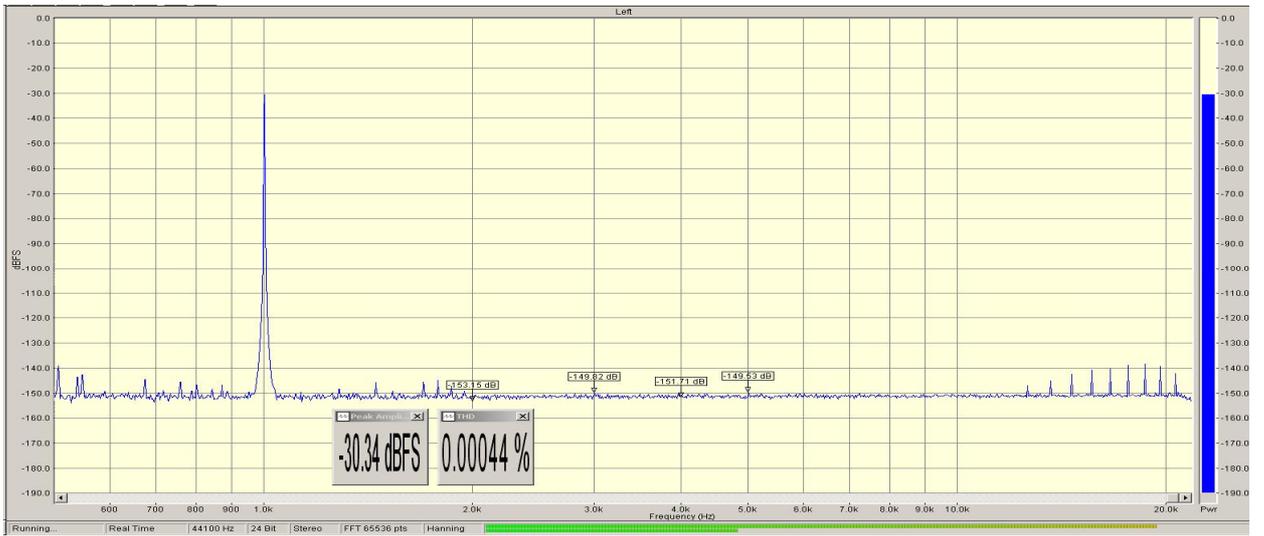
FS=44.1kHz:

Шумовая полка при передаче нулей:

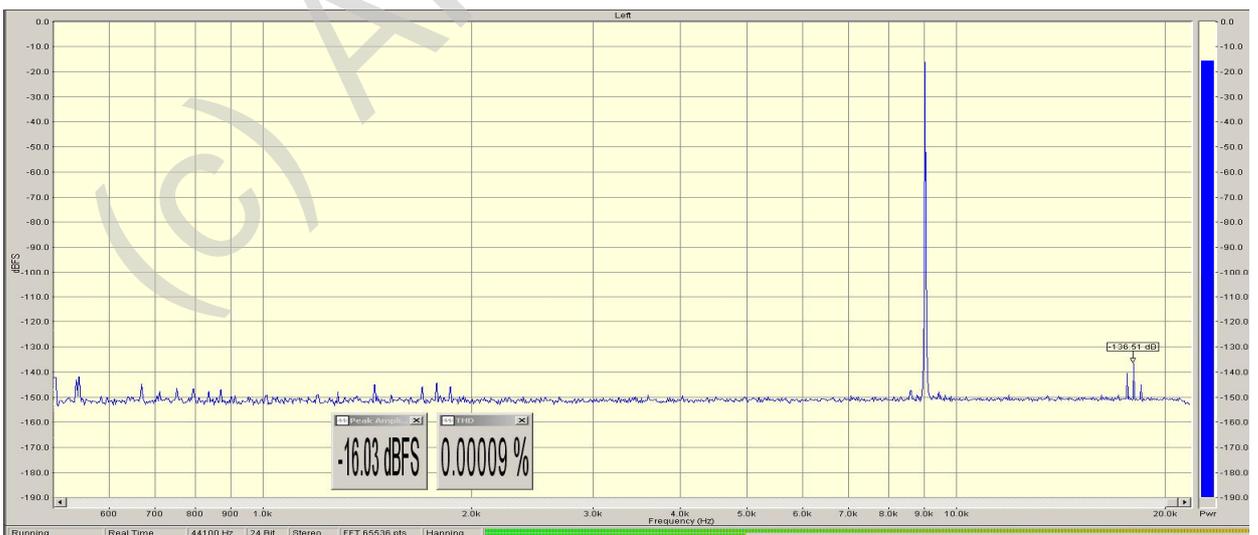
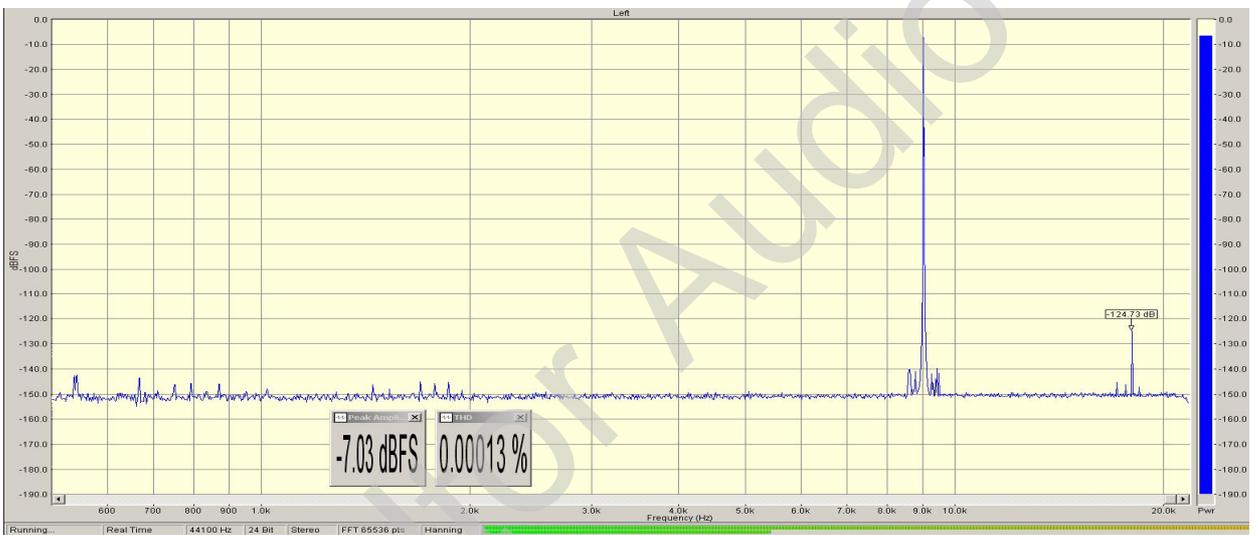
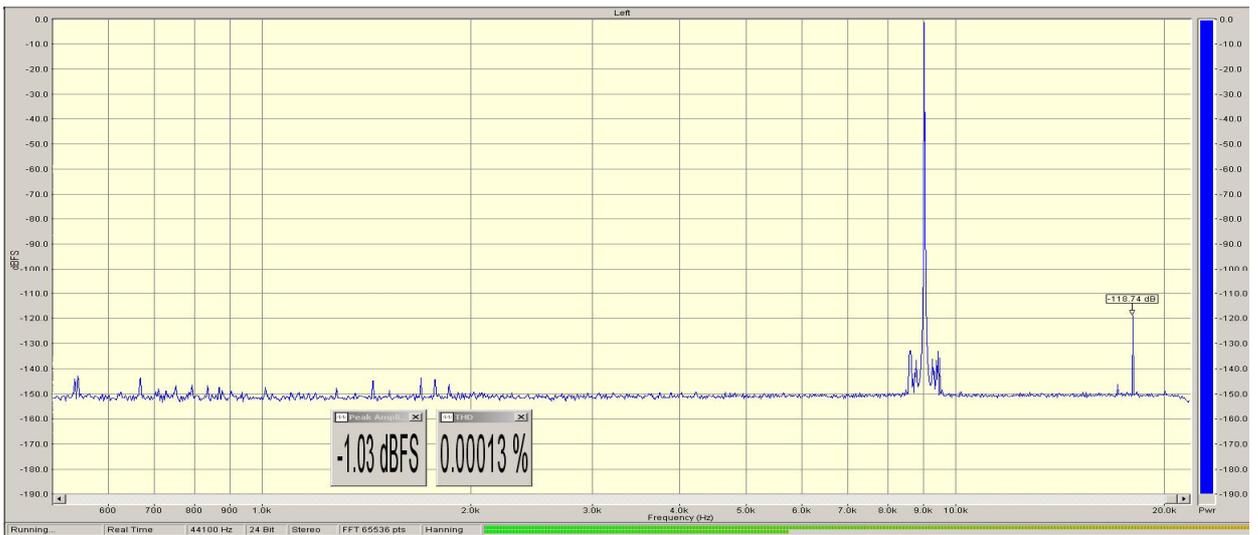


# Сигнал 1кГц с различными уровнями:

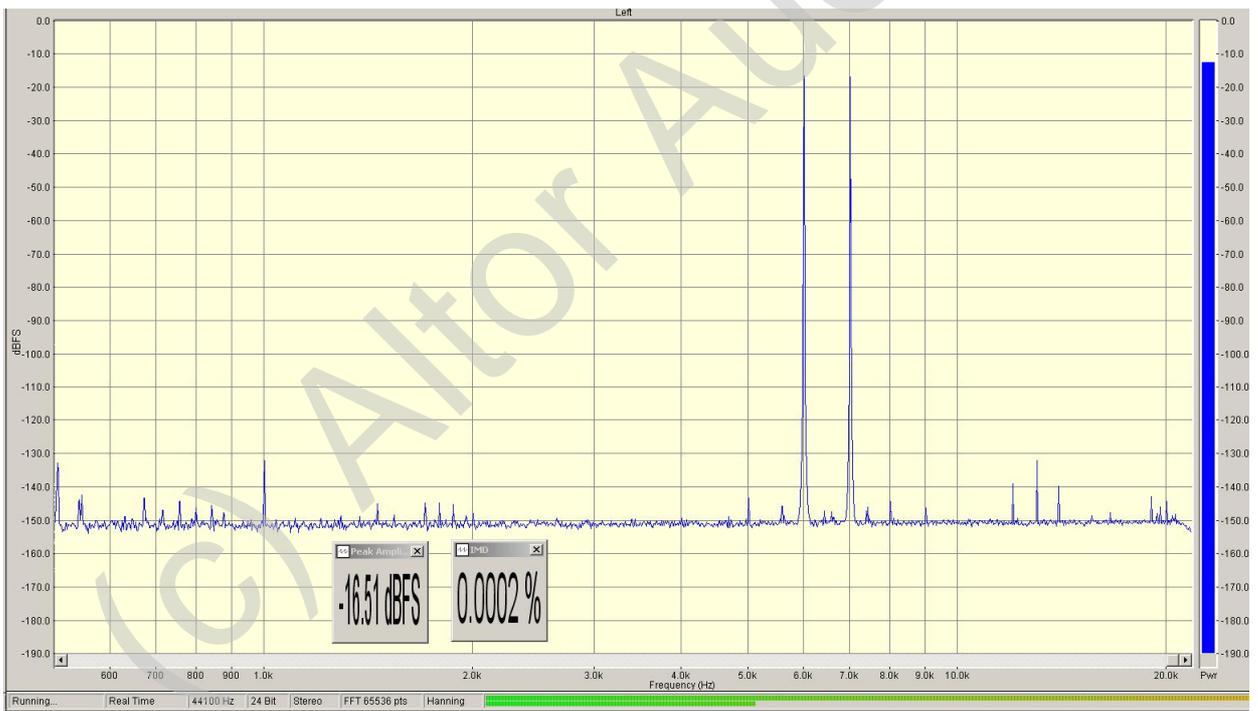
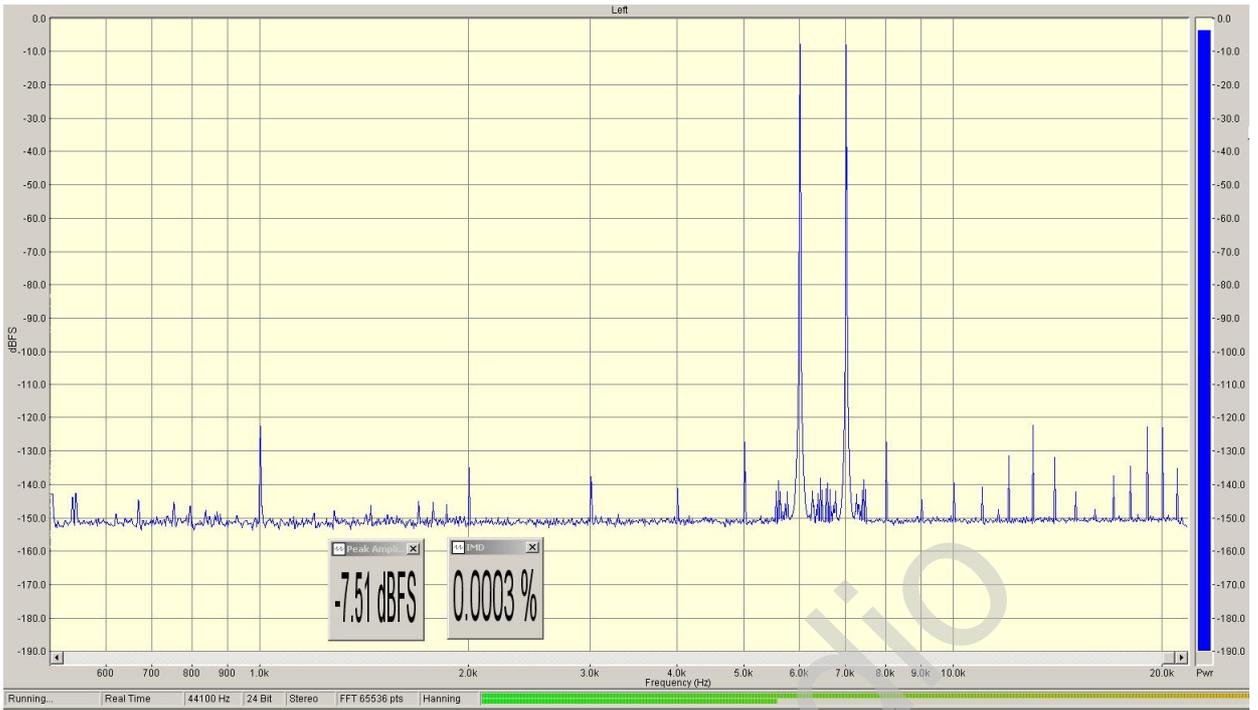


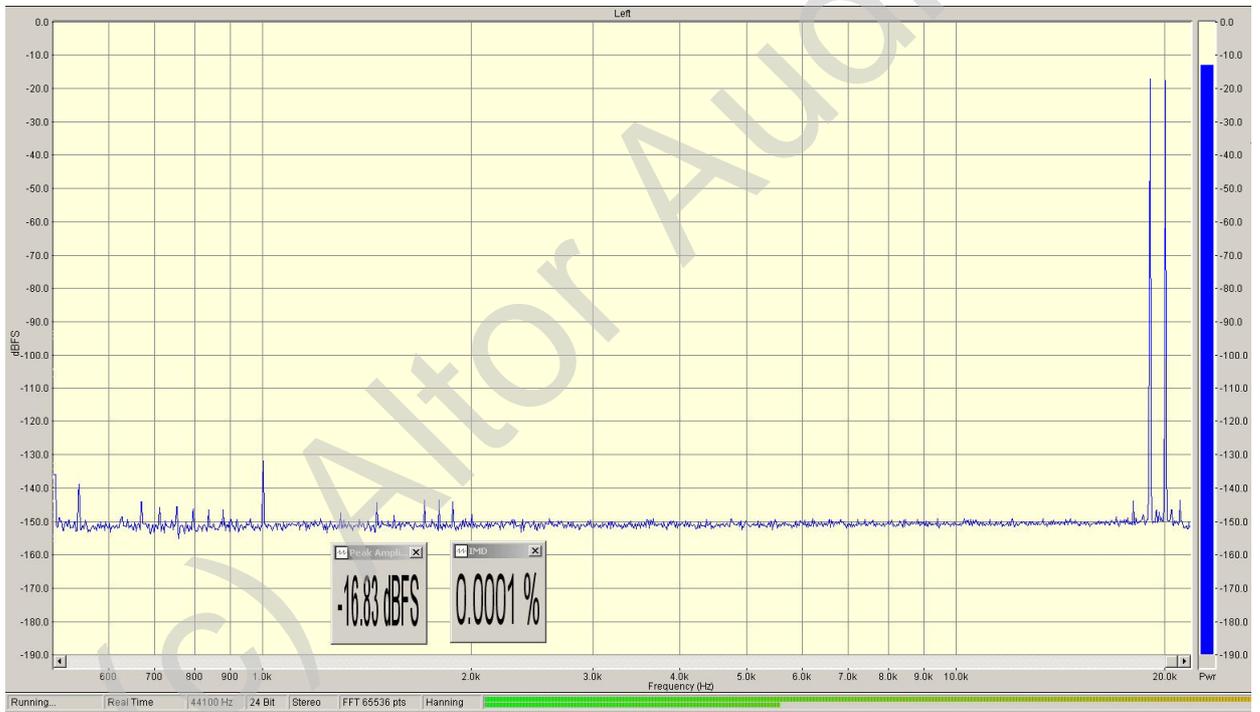
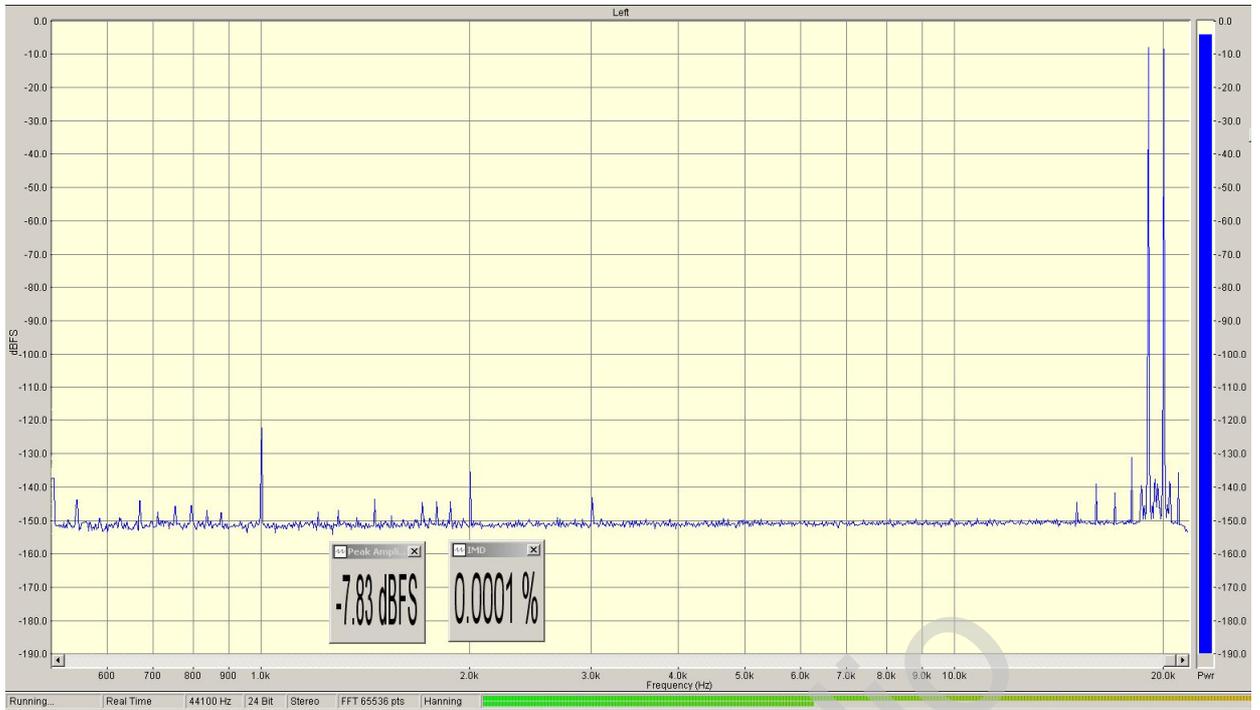


# Сигнал 9кГц с различными уровнями:



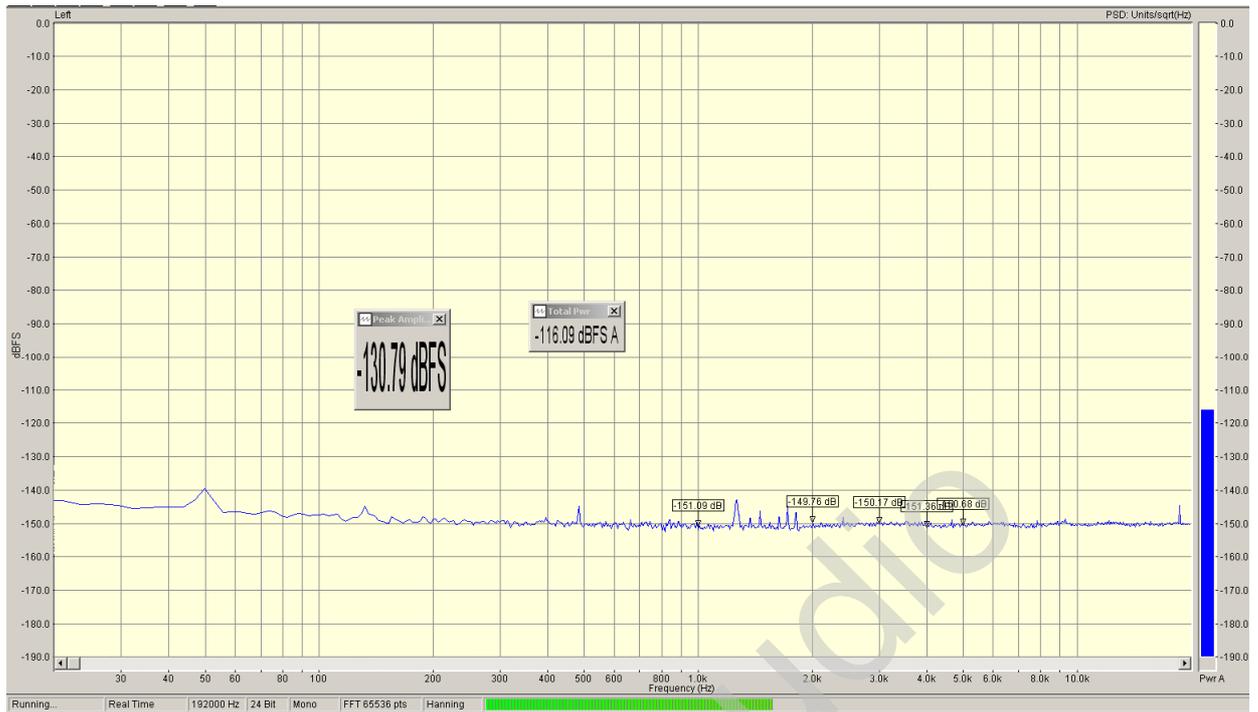
# Интермодуляционные искажения:



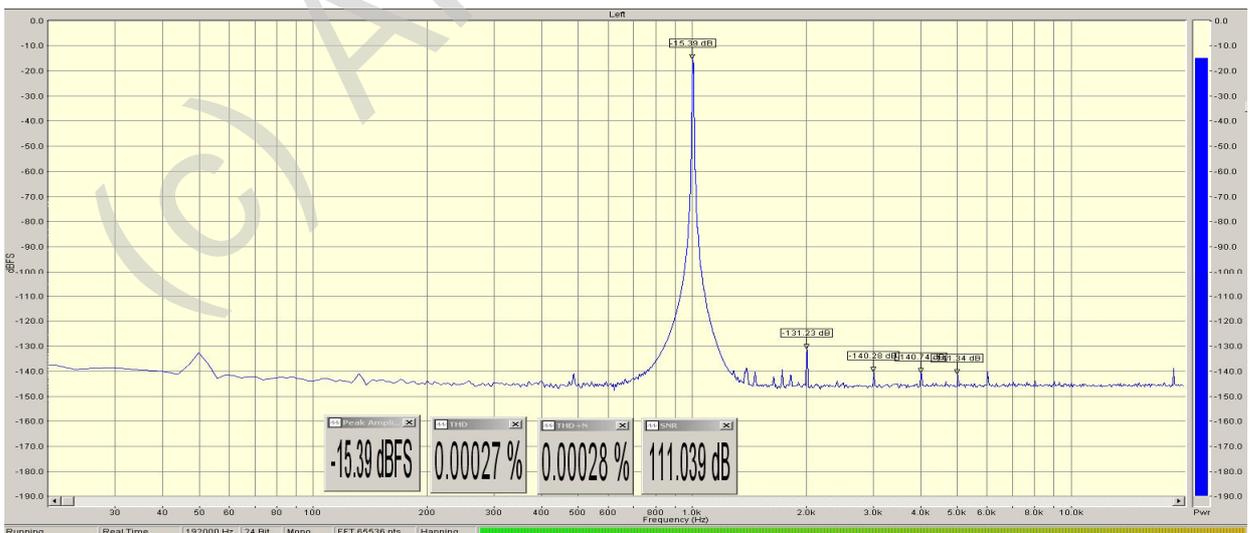
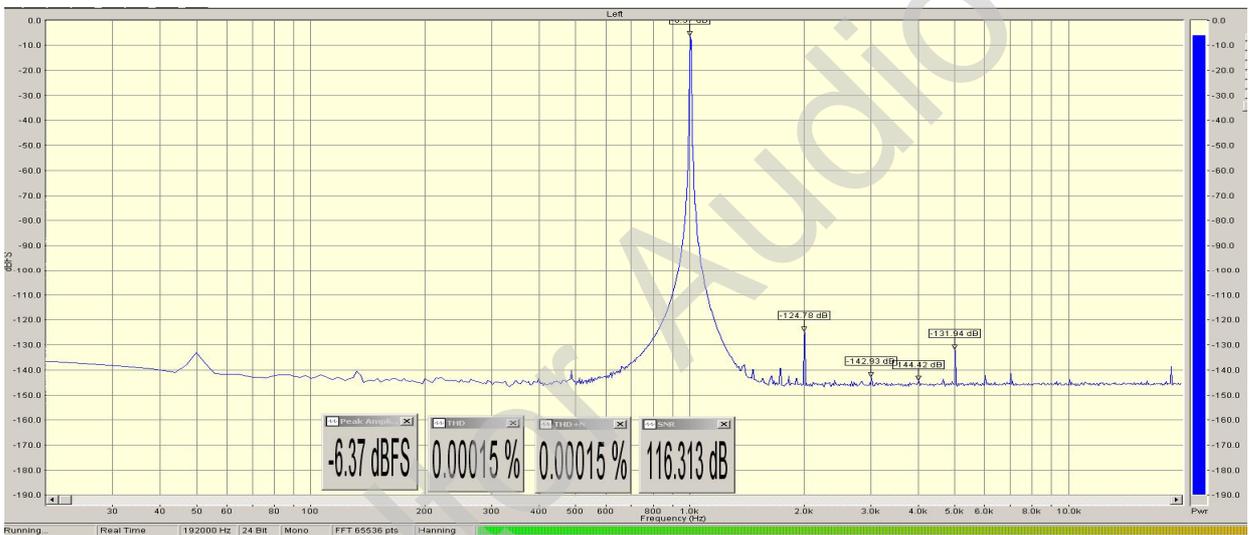
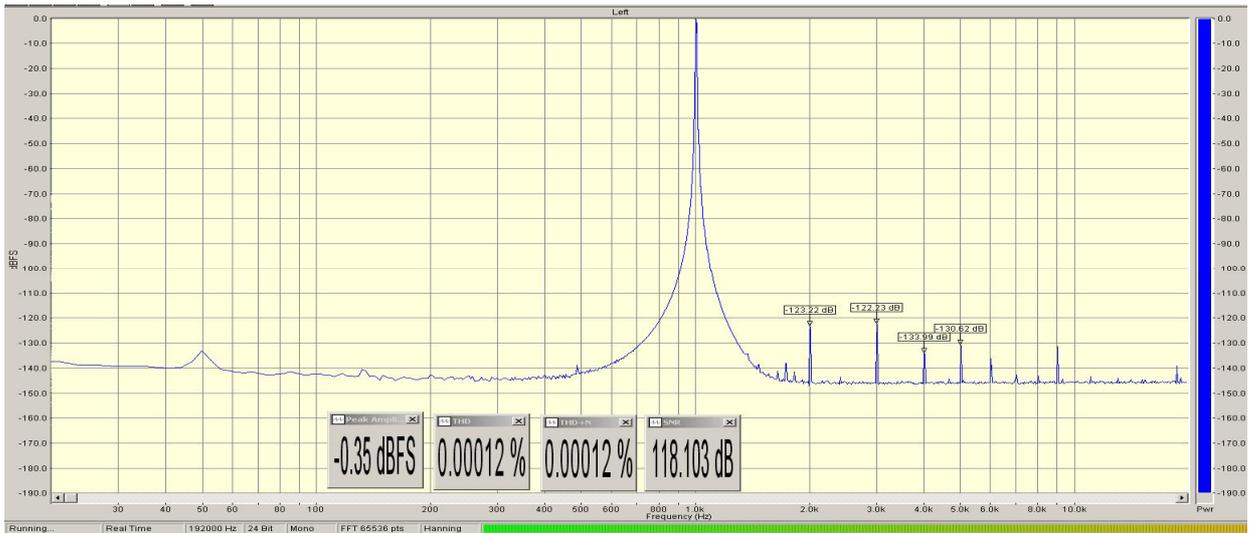


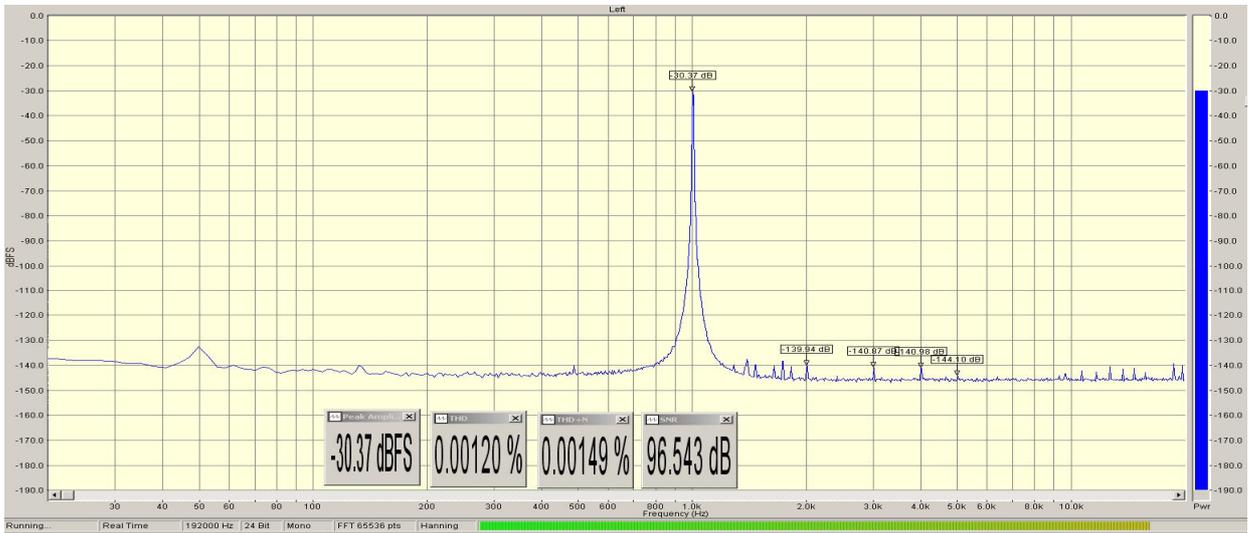
FS=176kHz:

Шумовая полка при передаче нулей:

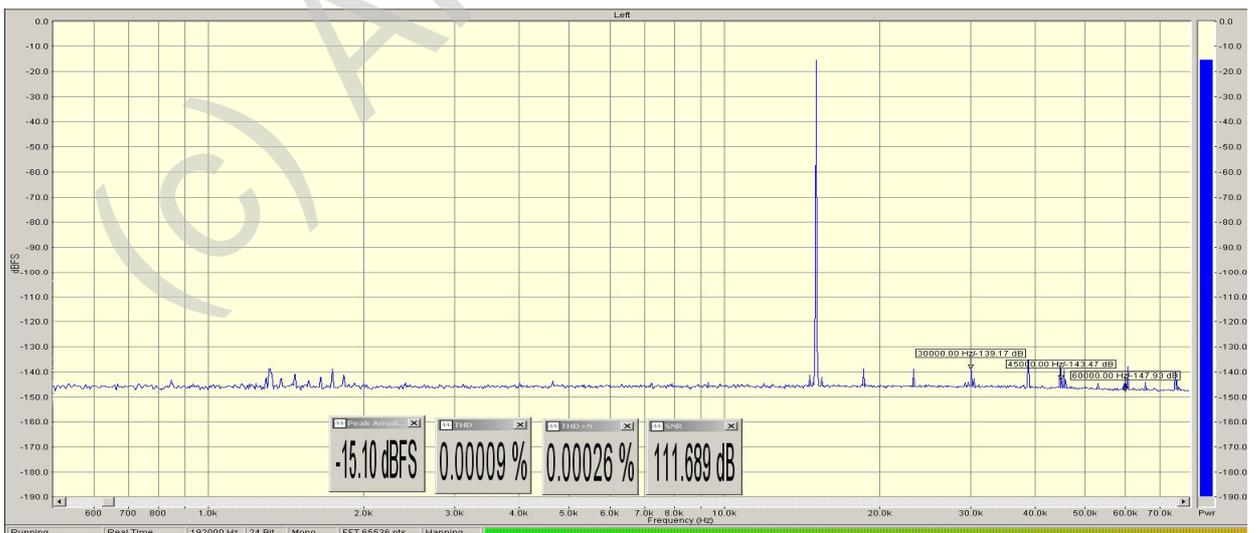
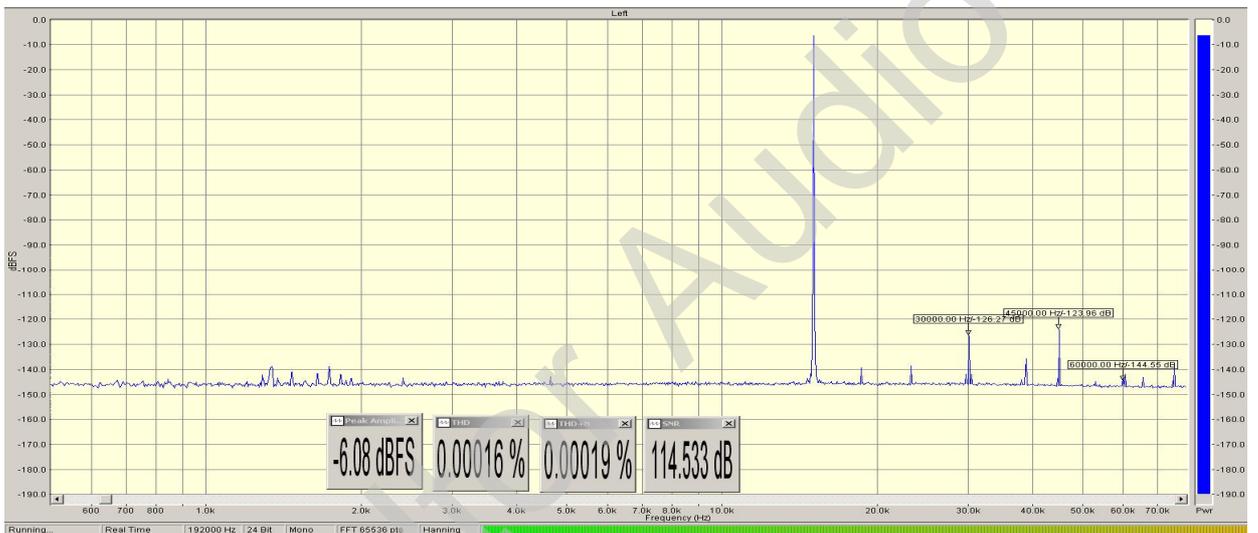
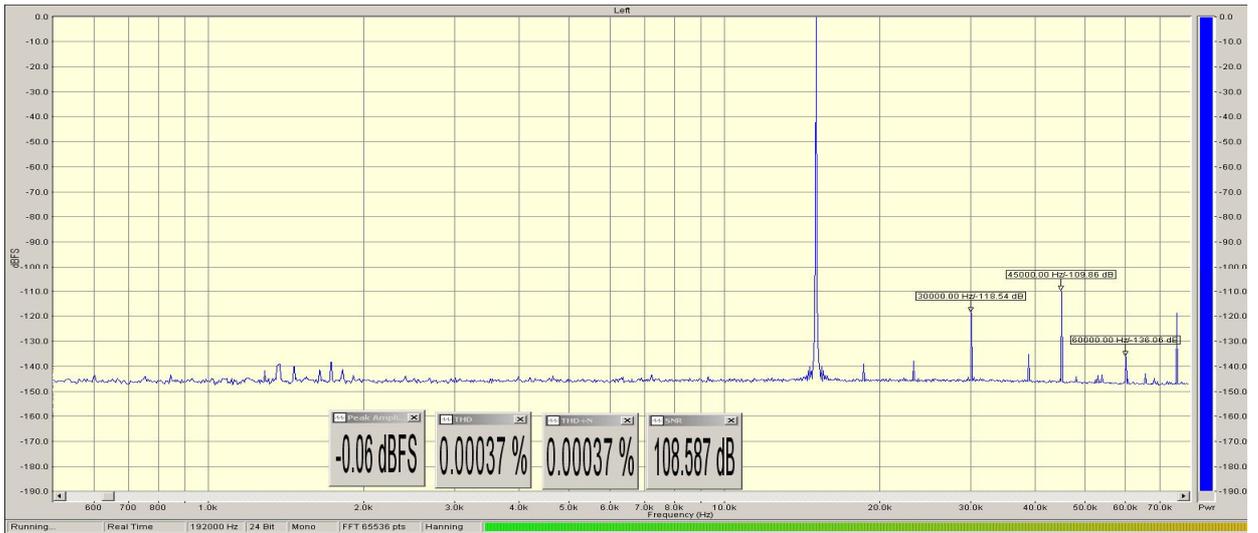


# Сигнал 1кГц с различными уровнями:

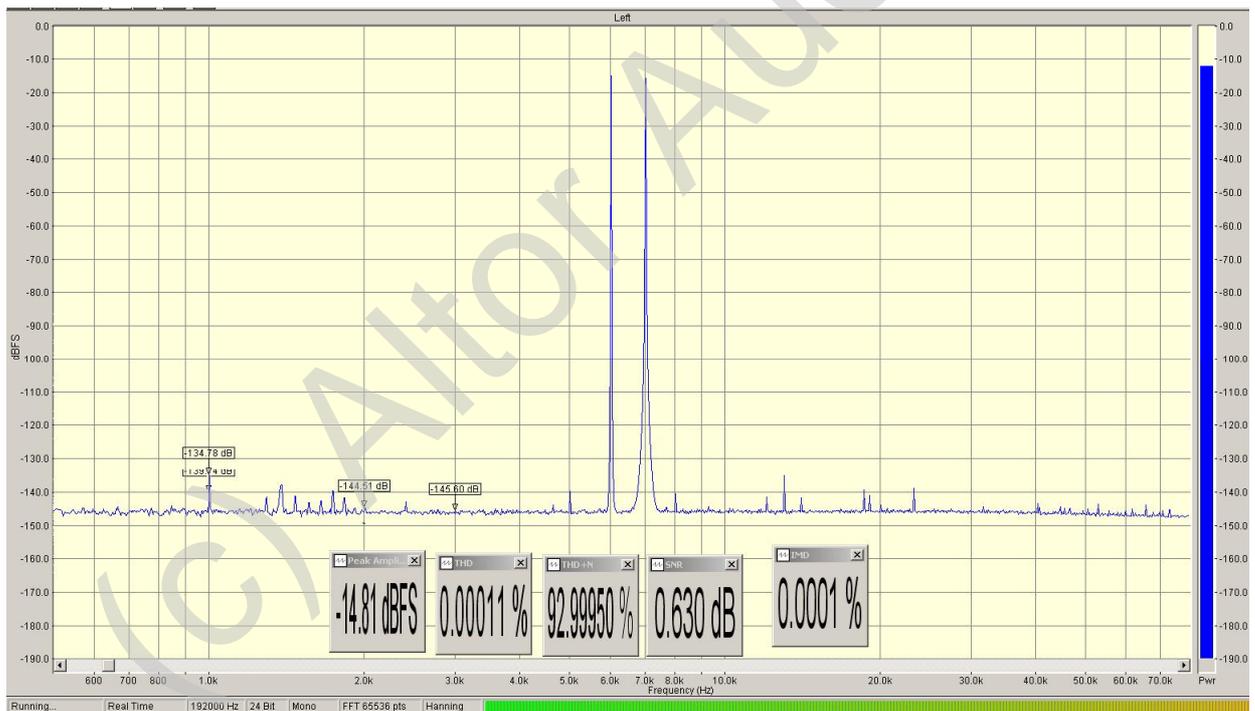
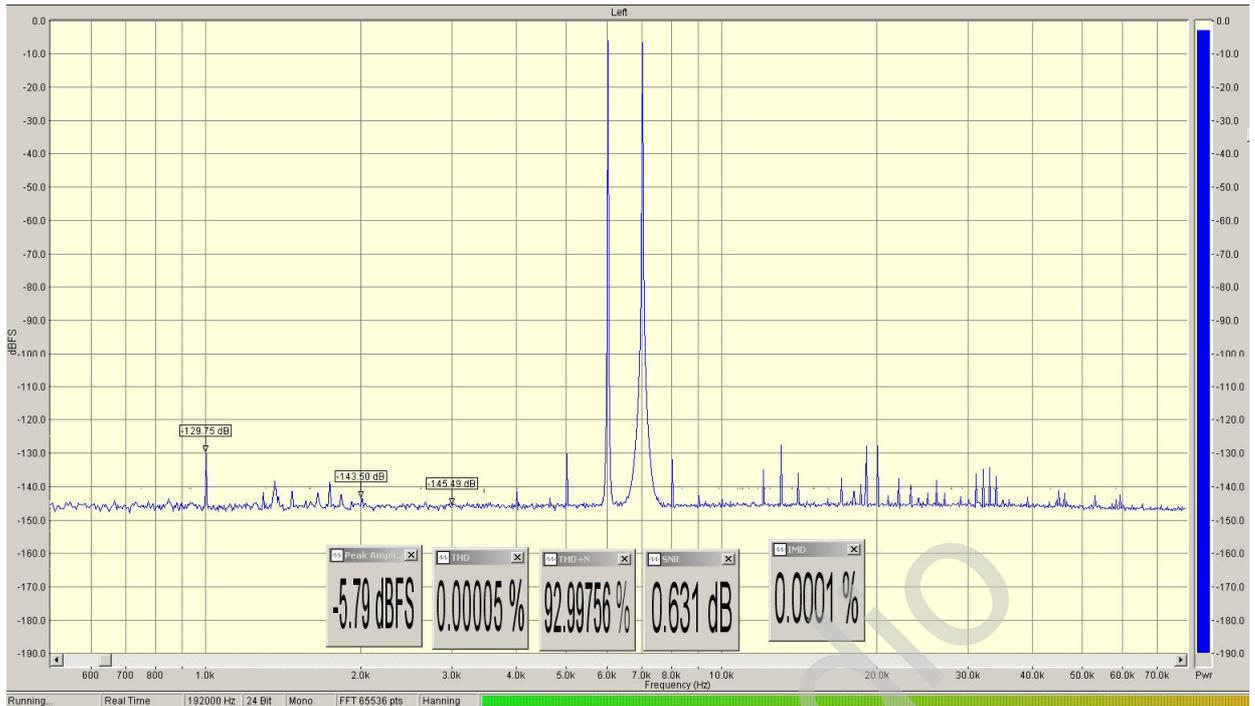


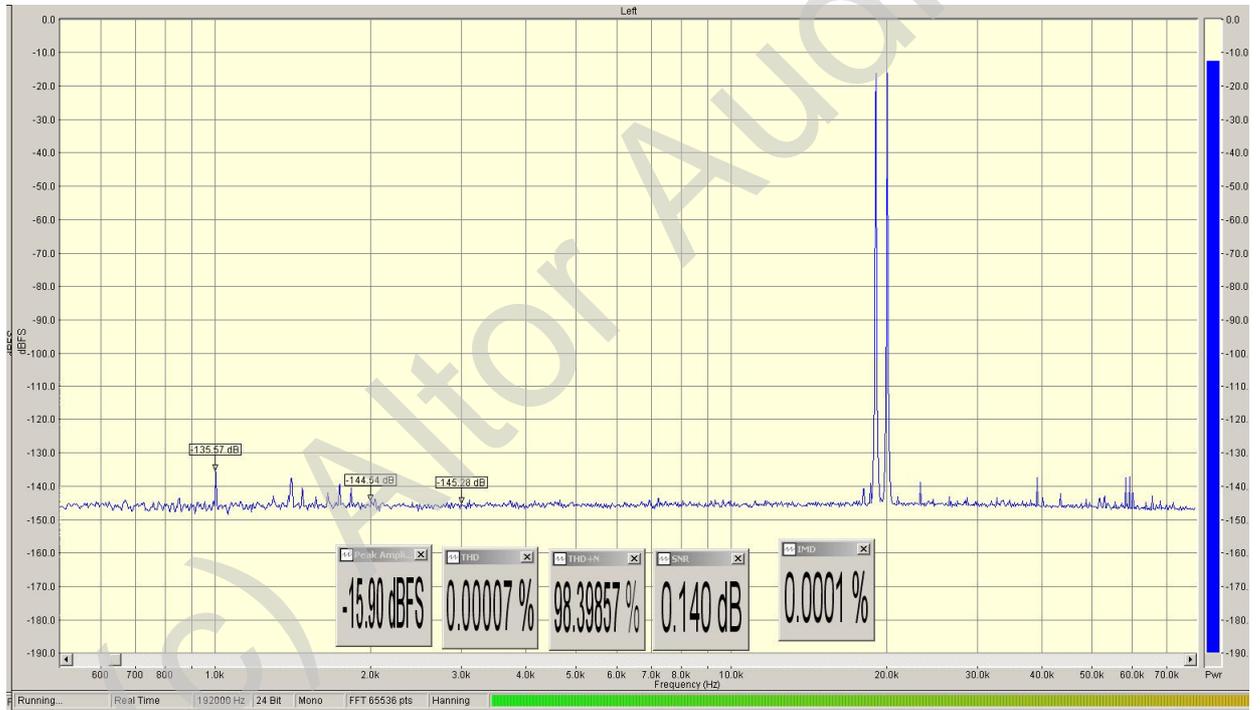
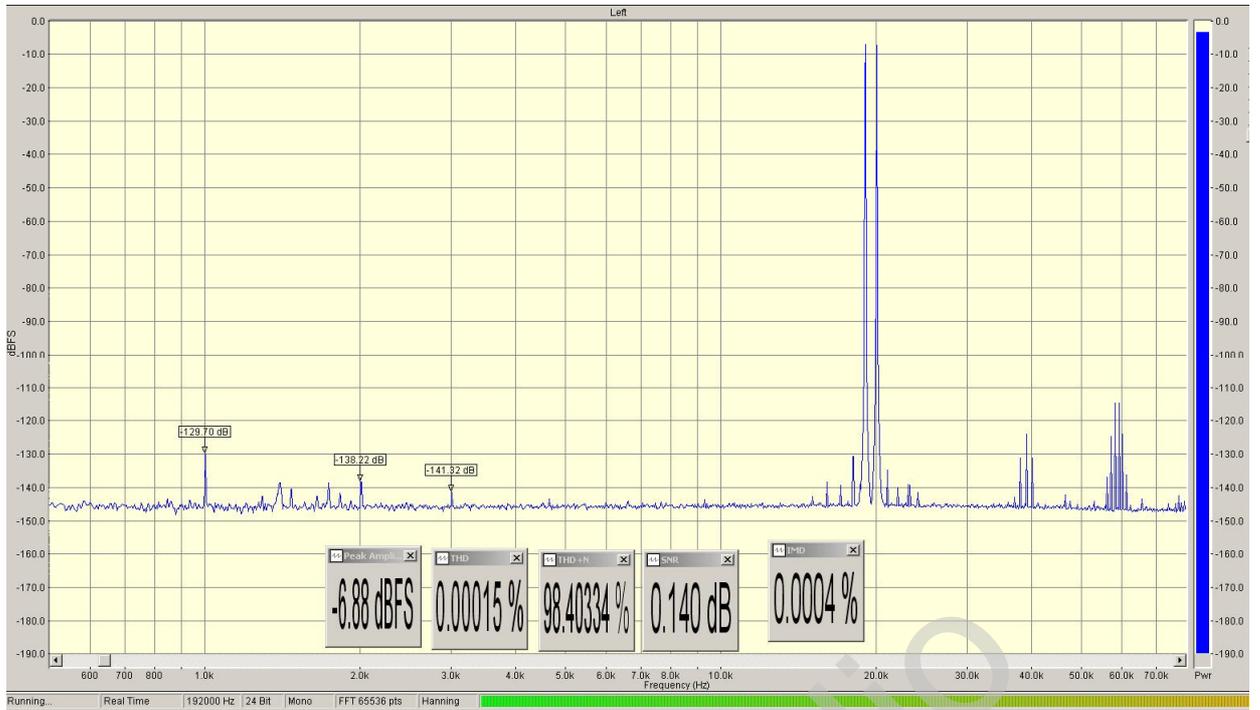


# Сигнал 15кГц с различными уровнями:



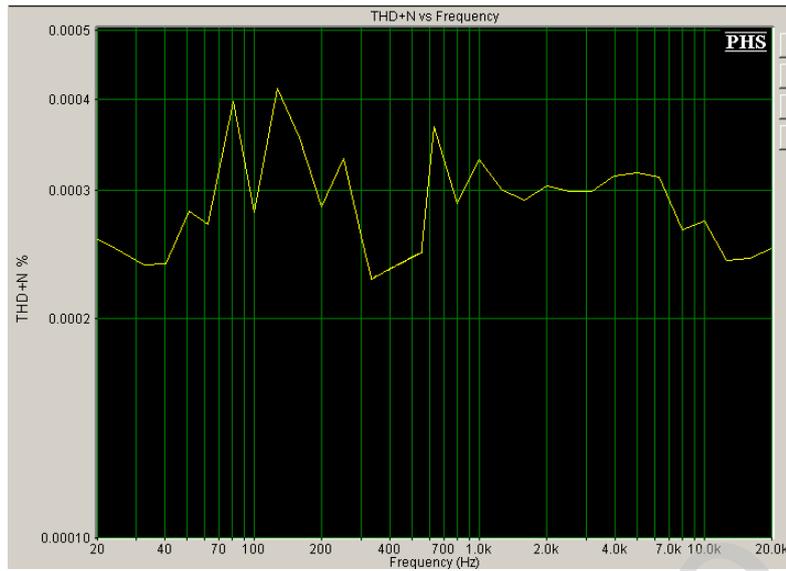
# Интермодуляционные искажения:



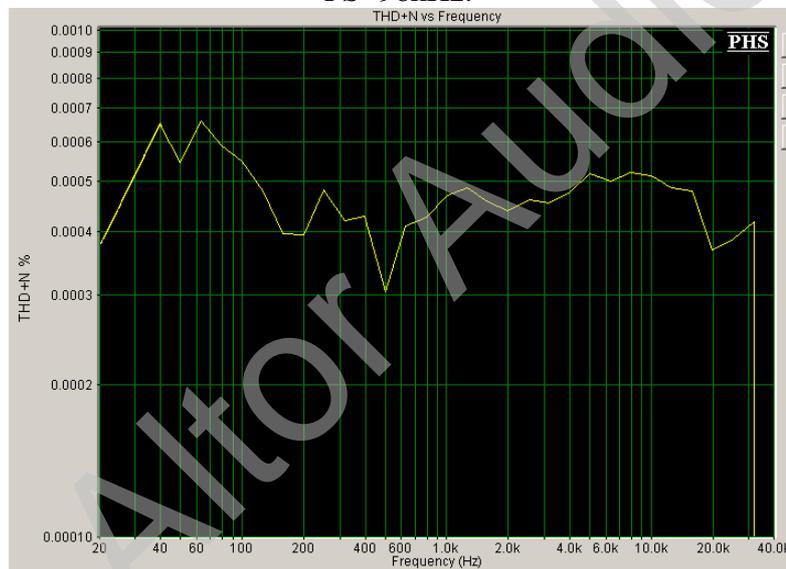


# Зависимость искажений от частоты:

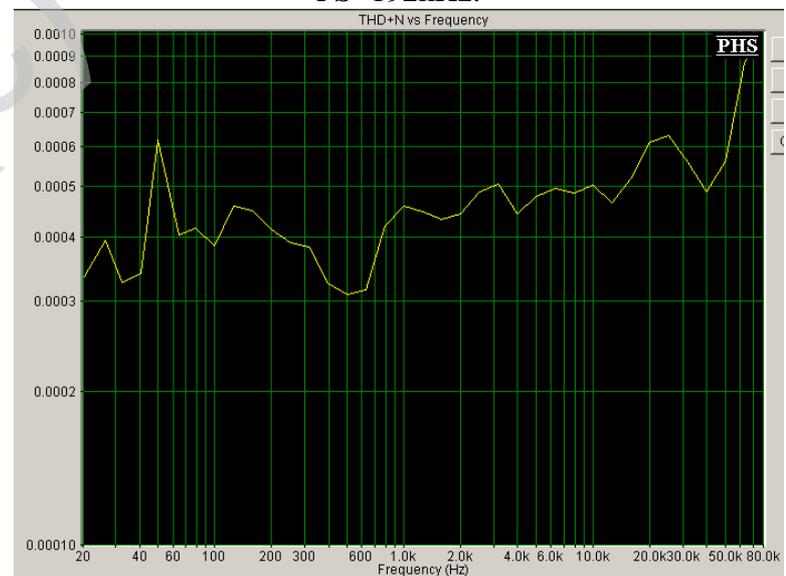
FS=44.1kHz:



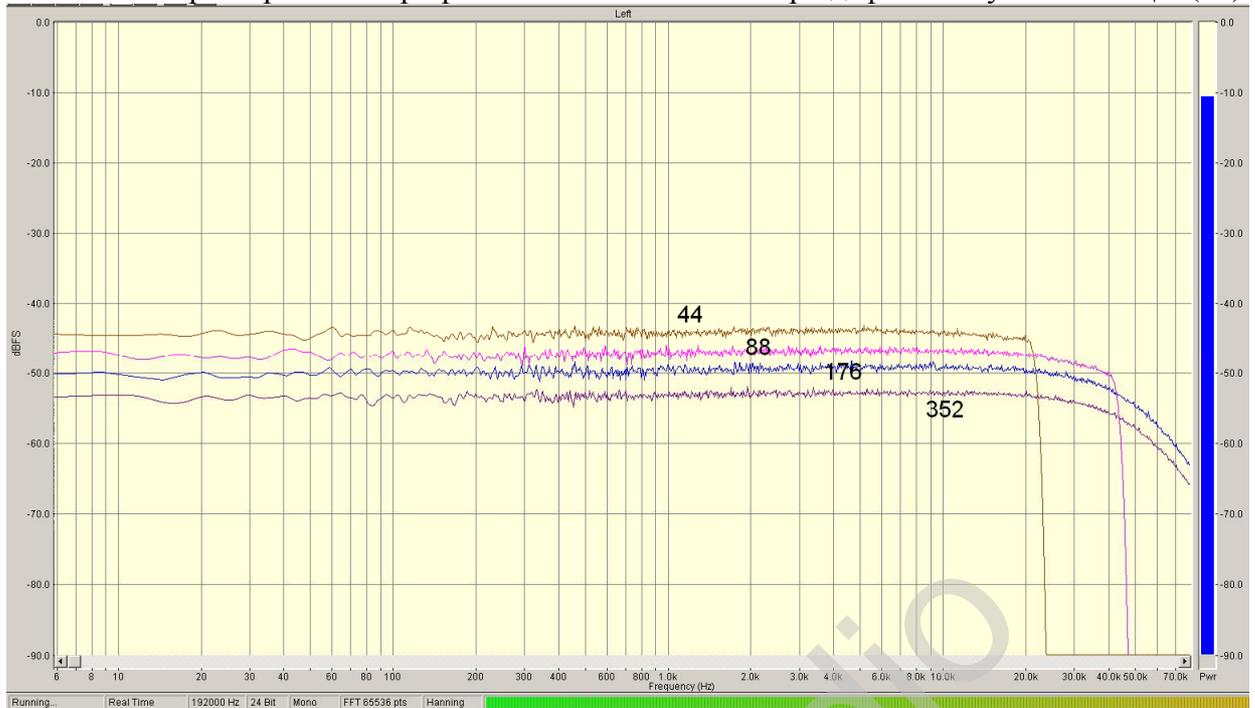
FS=96kHz:



FS=192kHz:



Частотные характеристики при различных  $F_s=44.1\text{kHz}$  при дефолтной установке ЦФ (00):



### Осциллограммы

#### Square wave.

Замечание – генератор Altor JKGен-384/12 использует математически сгенерированный меандр, не ограниченный по частоте анти-алиасным фильтром. Это вступает в противоречие с критерием Найквиста (теоремой Котельникова), однако дает больше информации о реакции испытываемого устройства на дельта-функцию.

#### Вариант «А»:

FS:	00	10	01	11
44				
88				
176				
352				

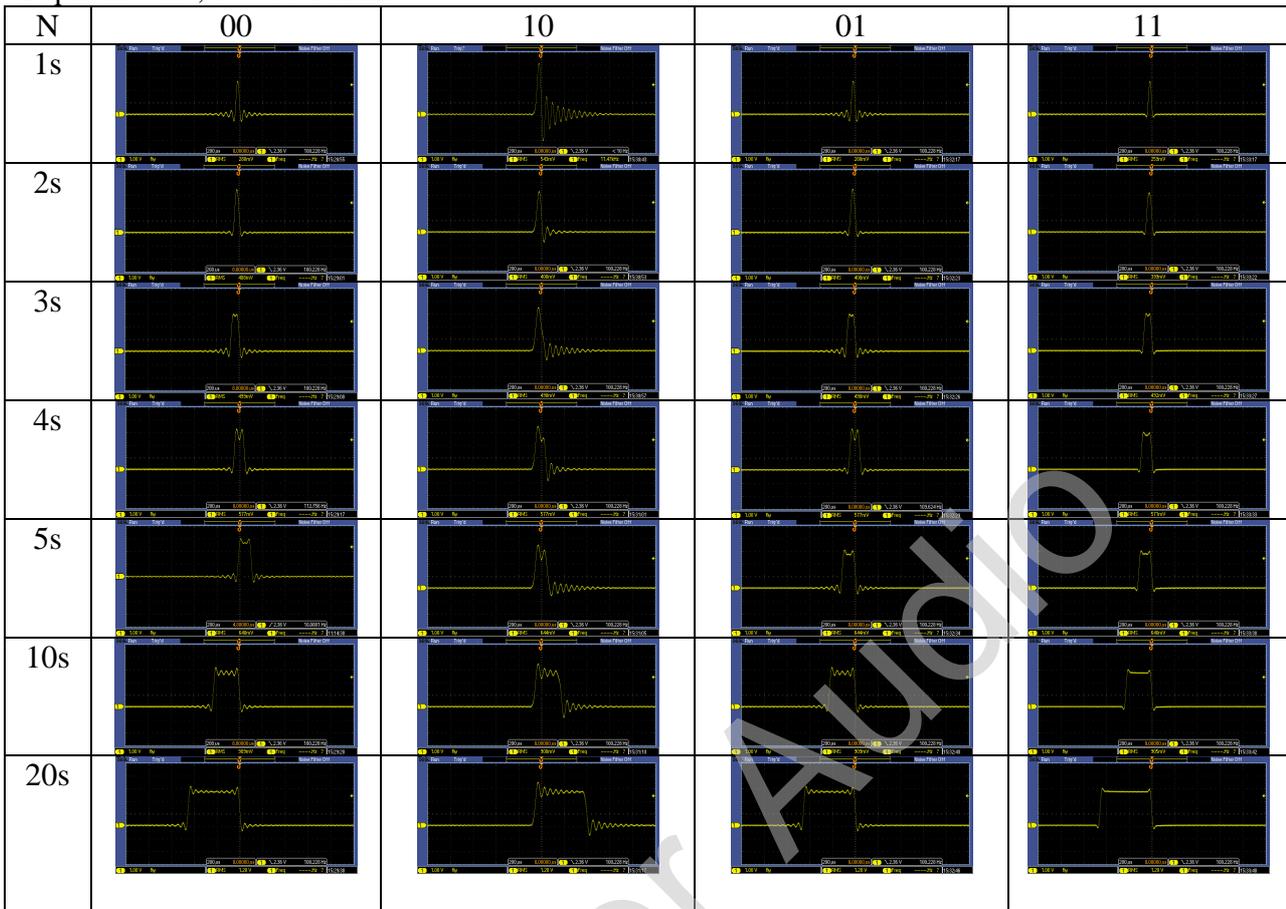
#### Вариант «В»:

FS:	00	10	01	11
44				

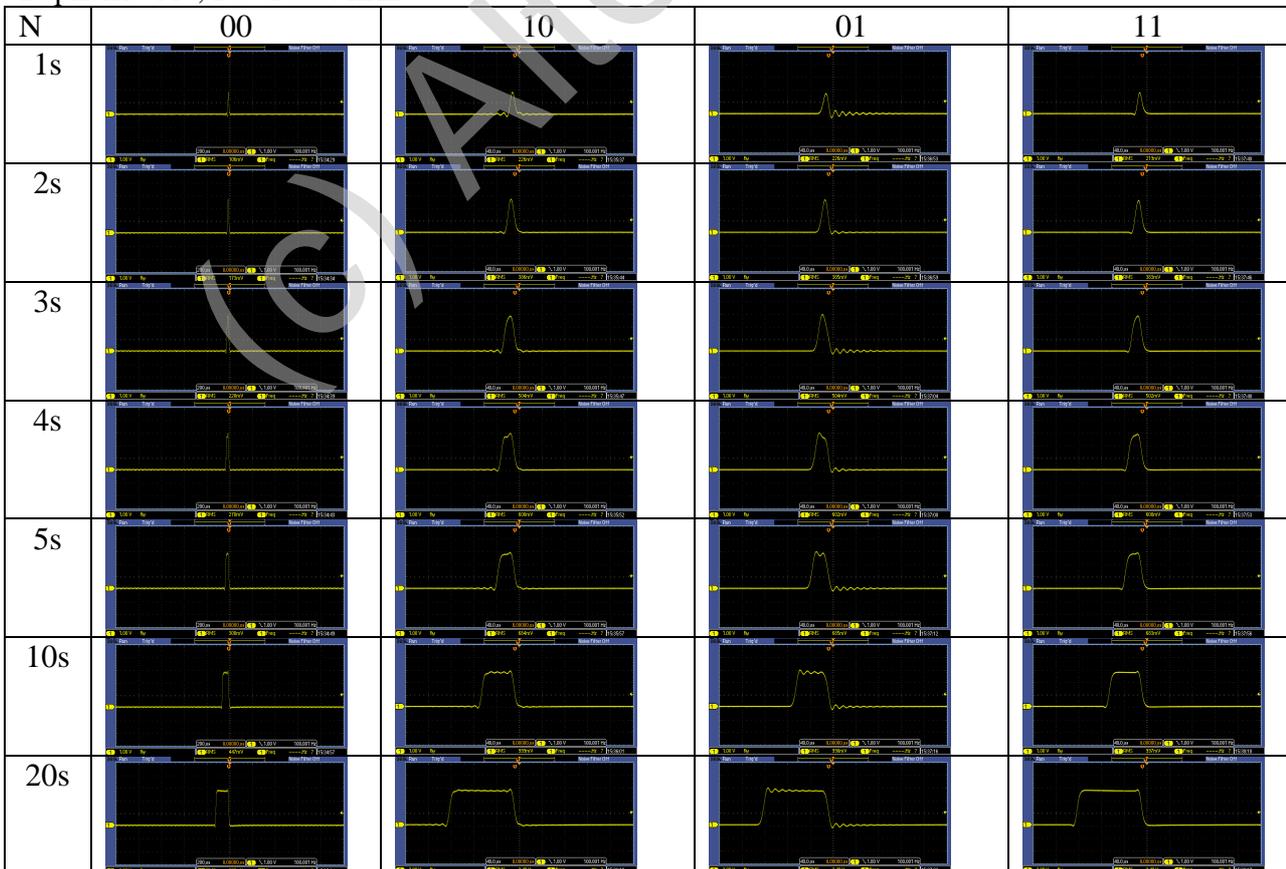
## Impulse test

Проверка импульсами максимальной амплитуды, длительностью в N-семплов

Вариант «А», FS=44.1 kHz



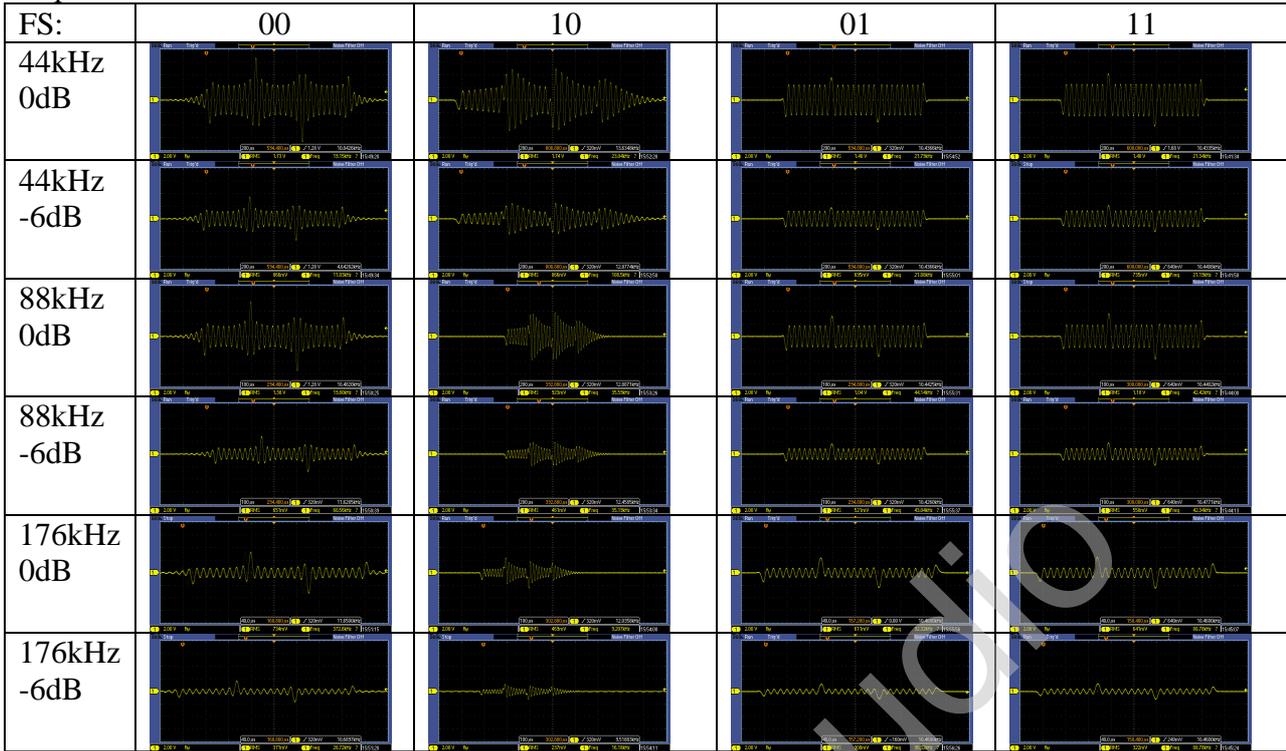
Вариант «А», FS=176.4 kHz



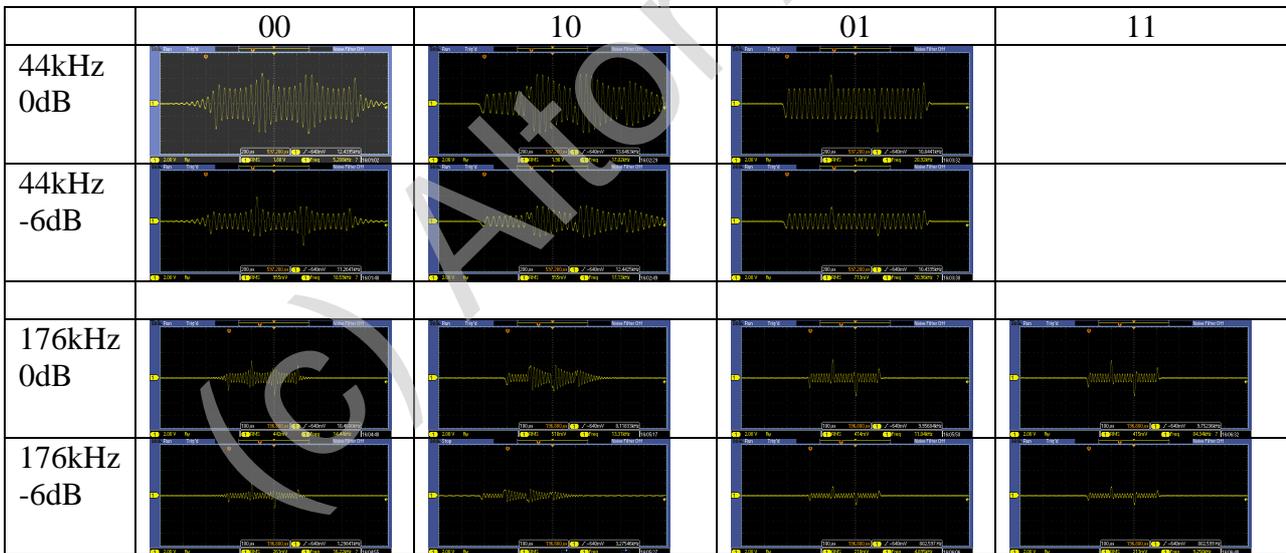
## Cross-Sample Test

Используется меандр максимальной амплитуды, со сменой фазы в середине пачки.

Вариант «А»:



Вариант «В»:



## Осциллограммы в DSD режиме:

Вариант «А»:

	DSD64	DSD128
1kHz		
2 kHz		
11kHz		
22kHz		
44kHz		
88kHz		
SQ		
TRI		

Вариант «В»:

		DSD64
1kHz		
11kHz		
22kHz		
44kHz		
SQ		
TRI		

(c)2014, 2015 Александр Торрес.  
 Altor Audio [www.altor.co](http://www.altor.co)