

Исследование передискретизации частоты звука в Windows

Проверял на системе Windows 11, тоже самое должно быть в 10 версии, если память не изменяет. Как ЦАП использовал **Shanling UA3**, уровень громкости в системном микшере выставил 77 единиц, что даже больше, чем при обычном прослушивании на наушниках **Shure SRH840**, где хватает 71 делений громкости. Осциллограммы снимал без нагрузки на выходе наушников, т.е. на холостом ходу. Для воспроизведения тестового сигнала использовал встроенный медиаплеер Windows.

Сначала использую запись синуса 1 кГц с уровнем записи 0 дБ (т.е. записанного под максимум цифрового диапазона) с частотой записи 44,1 кГц, в системе тоже была выставлена частота 44,1 кГц.

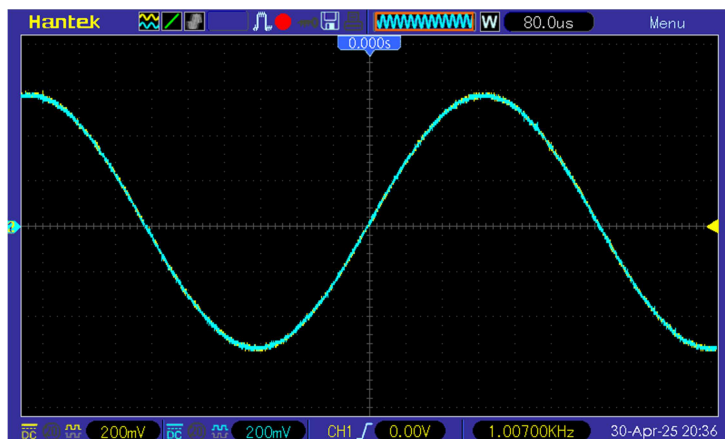


Рис.1.

Ниже использовал запись меандра 1 кГц (прямоугольный импульс), записанного с частотой 44,1 кГц, с уровнем записи 0 дБ, тоже записанного под максимум. В системе так же стояла частота 44,1 кГц.

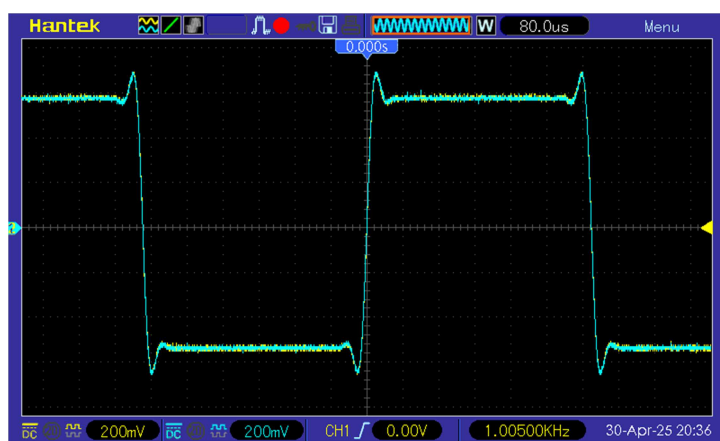


Рис.2.

Сравнивая два графика между собой, мы видим, что **пик синуса и полочка меандра совпадают по напряжению (по высоте)**, что правильно, они достигают максимального уровня записи 0 дБ (цифрового). Но на меандре мы видим выбросы ещё выше этого уровня на начале и конце фронта, что возникает из-за ограничения полосы записи цифрового сигнала. Как видим, ЦАП имеет запас по выходному уровню, иначе бы ВЧ импульс сверху был бы резко обрезан выше 0 дБ. Что для современных ЦАП норма. Притом, цифровой фильтр в ЦАП использовался не

стандартный, так как колебания только в начале фронта, перед и после колебаний нет, как должно быть при стандартном фильтре.

Подобный фильтр, где импульсная или переходная характеристики без лишних колебаний используется давно у фирмы Pioneer, система называется **Legato Link**, а так же у Denon в **Alfa** процессинге. А в ЦАП (AK4493SEQ) данный тип фильтра называется **Slow Roll-Off**, я его выбрал умышленно, по нему хорошо видно, когда идет передискретизация частоты в системе, где используется стандартная фильтрация и поэтому появляются колебания до и после импульса.

Далее воспроизвожу запись синуса и меандра с частотой записи 48 кГц, при выставленной частоте в системе 44,1 кГц/32 бит.

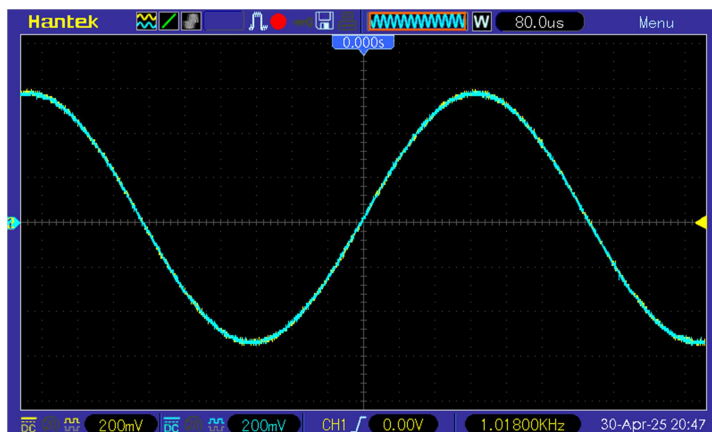


Рис.3.

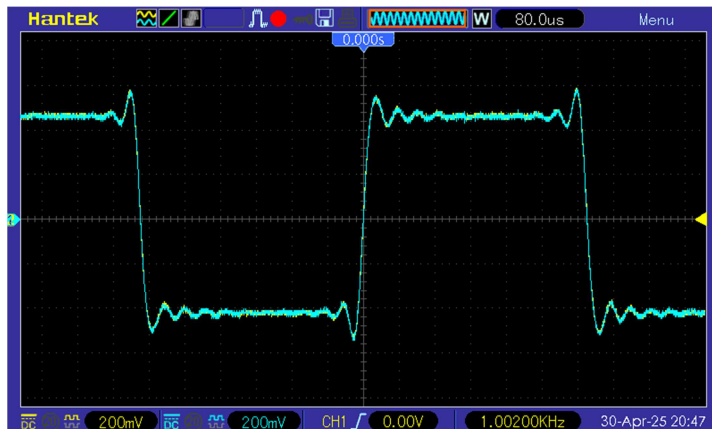


Рис.4.

Как видим, синус по уровню, по высоте точно такой же, а вот меандр (полочка) уменьшилась (стала ниже, не достигая 600 мВ) и появились колебания до и после импульса, притом они во времени плавают, **создают биения**, что есть эффект от передискретизации частоты, когда частоты не сильно различаются, поскольку в системе стоит 44,1 кГц, а запись на 48 кГц, поэтому при пересчете данных происходят изменения исходного сигнала. Как видим в системе Windows, на высоких уровнях записи (под 0 дБ) идет снижение уровня НЧ сигнала, чтобы колебания не выходили за диапазон 0 дБ, видимо с тем расчетом, чтобы ВЧ импульсы не вылетели за допустимый уровень, не обрезались, как это было раньше в старых ЦАП, которые не имели большого цифрового запаса по уровню, когда процессоры были меньшей разрядности.

Но, если я в системе установлю частоту 48 кГц и проиграю запись с частотой 48 кГц, то все будет нормально, как ниже показано. Меандр будет правильный и чистый, где полочка достигает 600 мВ.

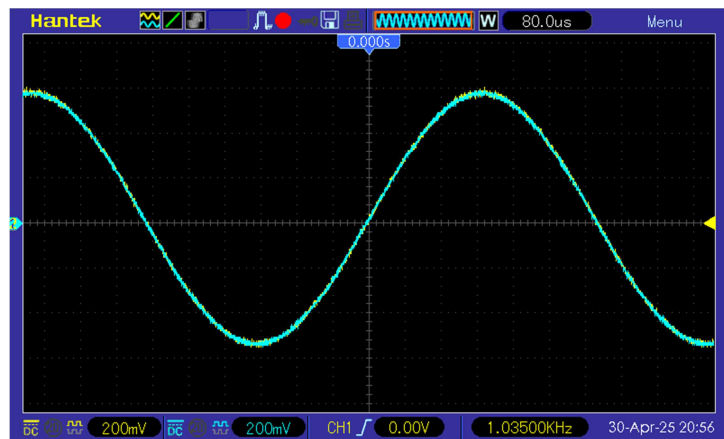


Рис.5.

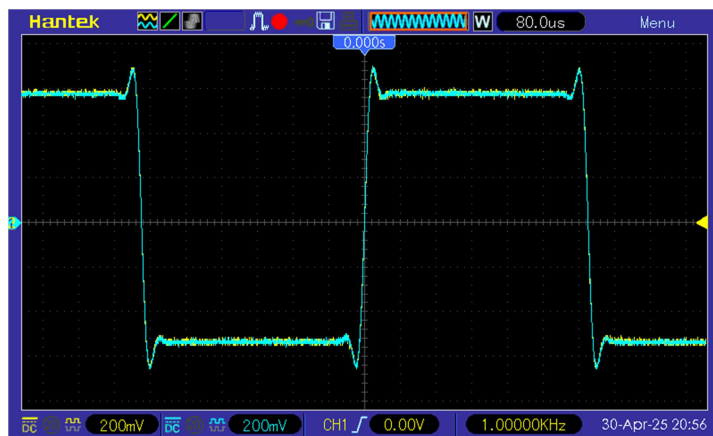


Рис.6.

А теперь, если воспроизведу сигнал записанный с частотой 44,1 кГц при установленной в системе частоте 48 кГц, то тоже получаю подобное искажение меандра.

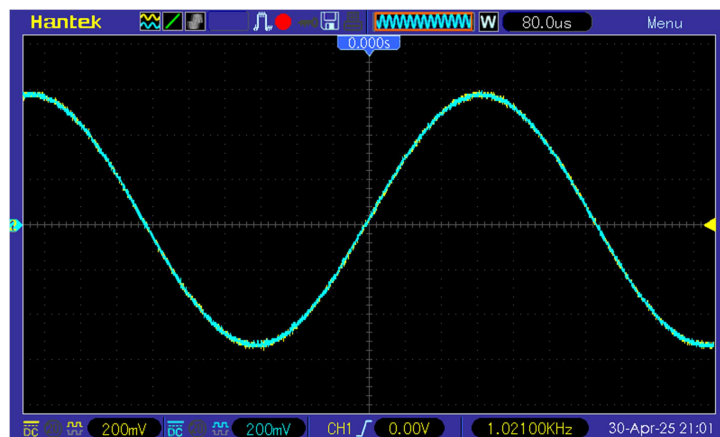


Рис.7.

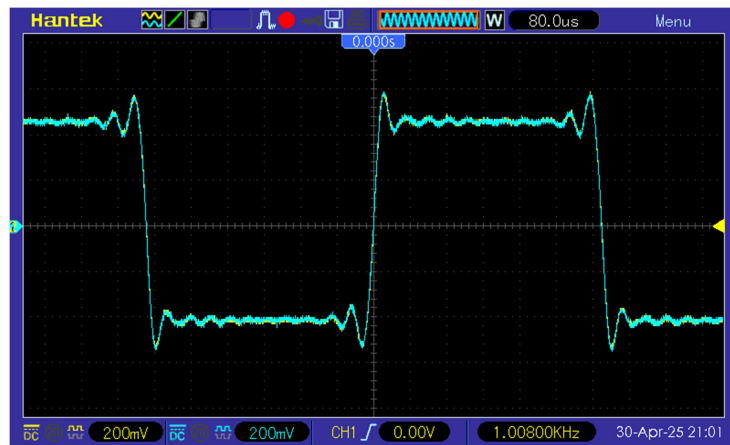


Рис.8.

Из этого делаем вывод, что при пересчете базовой частоты записи с 44,1 кГц в 48 кГц или наоборот возникает искажение меандра, записанного с максимальным уровнем 0 дБ (по максимуму), при этом возникают биения во времени, сигнал «дышит», что видно на осциллографе вживую и появляются ВЧ колебания до и после импульса.

При этом, если измерить параметры с помощью программы RMAA то никаких изменений в искажениях при передискретизации 44,1 кГц и 48 кГц (в обе стороны) мы не заметим (ранее уже проверял), ну может быть на 0,0001% будет отличие (КНИ-коэффициент нелинейных искажений), т.е. на уровне погрешности измерения. Но, как видим, на осциллографе разница при передискретизации близких частот заметна.

Конечно, она касается только записи, когда уровень прыгает от максимума до минимума или наоборот, в реальном сигнале такой ситуации не будет, хотя, сегодня, многие песни записаны часто под 0 дБ, с обрезанием пиков на НЧ, поэтому всё же на слух это влияние заметно. Например, когда слушаю **Яндекс.Музыку** на компьютере, где частота записи используется 44,1 кГц, а в системе стоит 48 кГц/32 бит. И, кстати, именно так и слушаю, звук получается более мелодичный, не знаю, что влияет возникновение биений и ВЧ колебаний на переходной характеристике или понижение полочки (НЧ сигнала) сказывается.

Притом, заметьте, что ЦАП работает не на 100% уровне громкости (в данном случае громкость в системе была 77 делений из 100), есть запас по цифровому уровню, поскольку Windows регулирует громкость цифровым способом, пересчетом данных и кажется, зачем ограничивать сигнал сверху, можно было пересчитать без понижения полочки меандра. Видимо, дело в том, что передискретизация частоты делается в программном плеере, до регулятора громкости в системе, который используется уже на выходе, поэтому запись идет с максимальным уровнем и поэтому уровень снижают. Но, вообще говоря, подобных искажений меандра при передискретизации можно было бы избежать, если бы передискретизация и изменение уровня громкости проходили одновременно.

Поэтому результат передискретизации зависит от применяемых алгоритмов. Это видно, когда делаю программный пересчет частоты в плеере **Eddict** (Андроид), где использовал побитовый вывод, чтобы система не меняла данные и подавала на ЦАП как есть, без изменения сигнала и получил тоже биения ВЧ на меандре, но полочка при этом по высоте не меняется.

Запись была 44,1 кГц, а в плеере пересчет выставлен в 48 кГц, сначала синус, а ниже показан меандр. Хотя биения и ВЧ колебания на меандре тоже присутствуют, но полочка меандра по высоте соответствует максимальному уровню, в данном случае 450 мВ примерно.

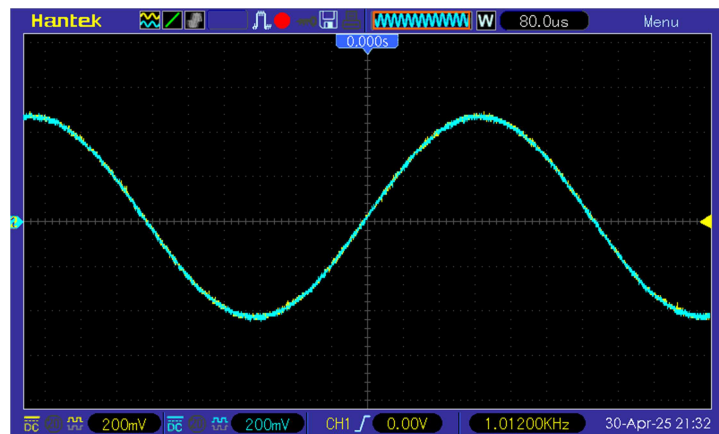


Рис.9.

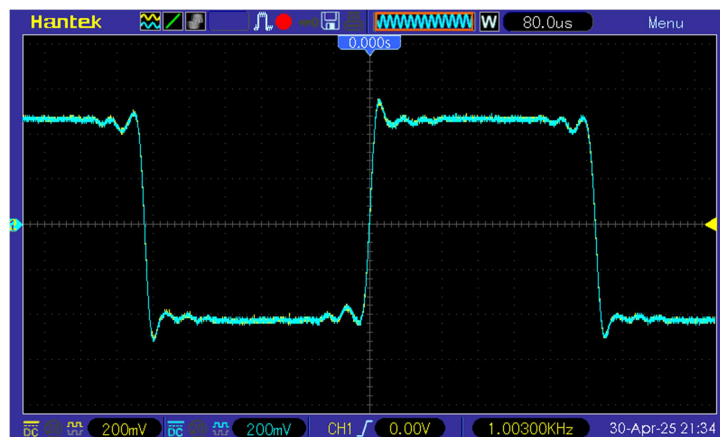


Рис.10.

А ниже проиграл запись меандра с частотой записи 48 кГц, в плеере тоже стояла частота 48 кГц, в итоге получил чистый меандр.

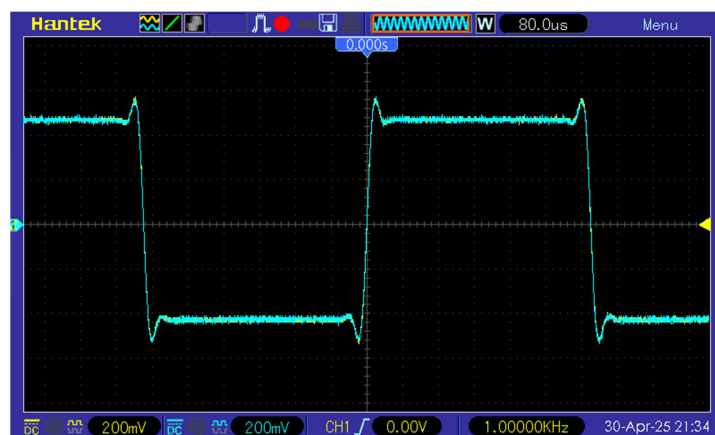


Рис.12.

Как видим, при передискретизации в плеере Eddict высота полочки не меняется, но тоже возникают биения на меандре, когда частота близкая, т.е. 44,1 и 48 кГц используются. Видимо,

логика тут такая, система **Windows не ограничивает ВЧ импульсы по высоте (амплитуде), но снижает НЧ сигнал по уровню**, чтобы ВЧ импульсы не вышли за предельный уровень, а плеер Eddict делает обратное, снижает ВЧ колебания, но оставляет НЧ сигнал на прежнем уровне. Т.е. используются разные алгоритмы.

Для примера, использовал передискретизацию **44.1 кГц → 48 кГц** в плеере **Roon (Windows)**, где вывод данных через WASAPI был настроен, чтобы система не влияла на данные. Запись с частотой 44,1 кГц использовал. Первый график без передискретизации, как есть, а второй с включенной передискретизацией в 48 кГц в плеере.

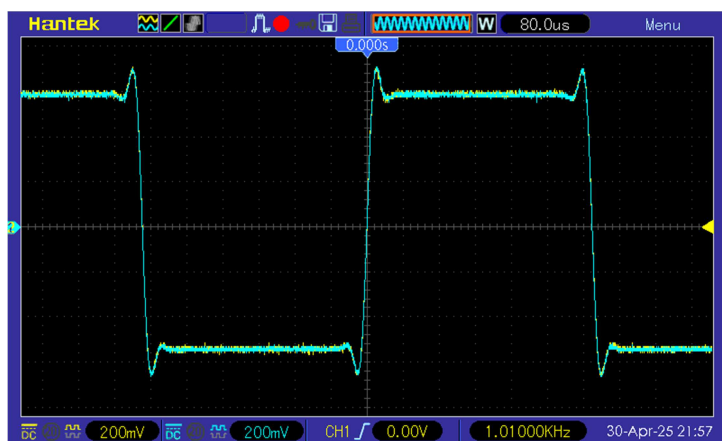


Рис.13.

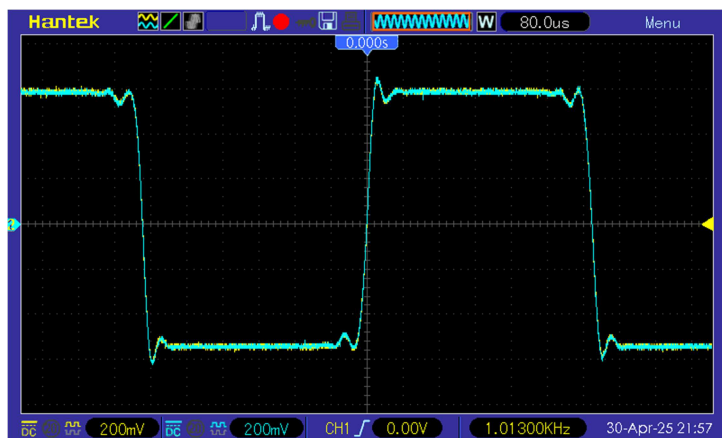


Рис.14.

При передискретизации видны биения на осциллографе (по времени), ВЧ выбросы по амплитуде явно уменьшаются, но полочка при этом не снижается, т.е. НЧ сигнал остается на прежнем уровне. При этом в Roon можно выбрать тип применяемого при передискретизации цифрового фильтра, был выбран **«Гладкий. Линейно-фазовый»**, который дает чистый импульс, без колебаний до и после импульсов, похоже на выбранный фильтр в ЦАП. Обратная передискретизация в плеере Roon 48 кГц → 41 кГц дает тот же эффект.

Если в Roon установить передискретизацию до 96 кГц, то на записи 44,1 кГц получим искаженные фронты сигналов.

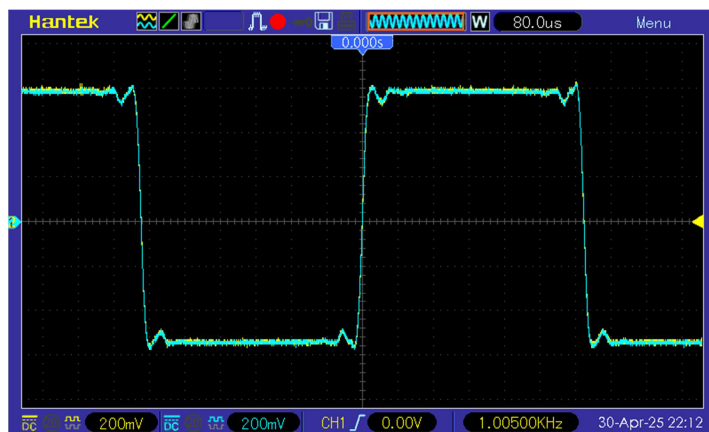


Рис.15.

На записи 48 кГц увидим похожие искажения.

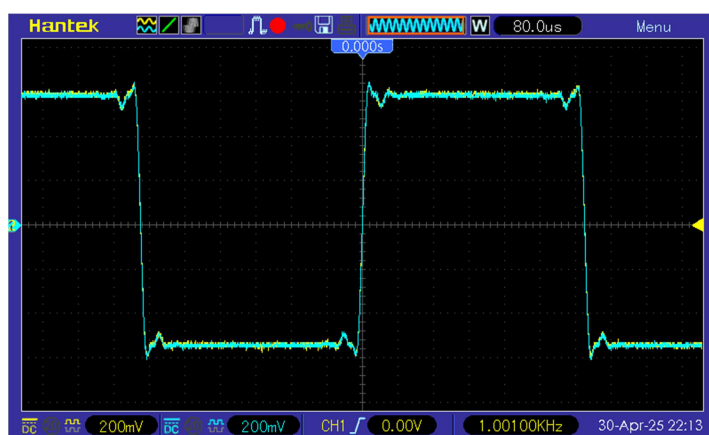


Рис.16.

В обоих случаях ВЧ фронты получаются не красивые, при этом биений сигнала нет, сигнал во времени не меняется, так как частота повышается значительно (достаточно промежуточных точек). При этом фронт сигнала можно исправить, понизив в DSP настройках Roop уровень с помощью «**Запас динамического диапазона**», выставив в нем снижение уровня -3 дБ и тогда получим чистый фронт сигнала на меандре и при этом полочка НЧ не будет опущена.

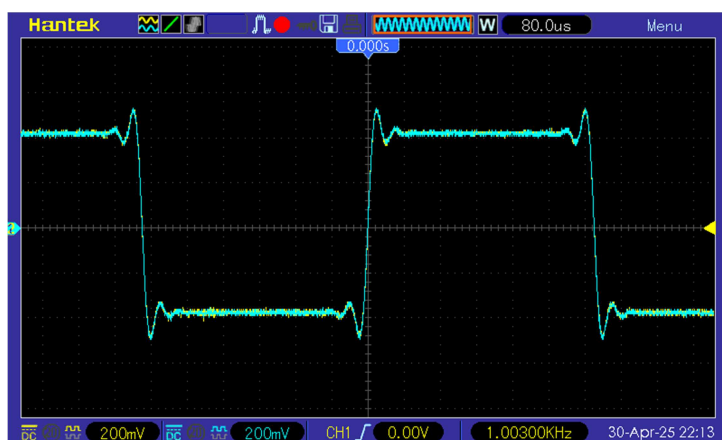


Рис.17.

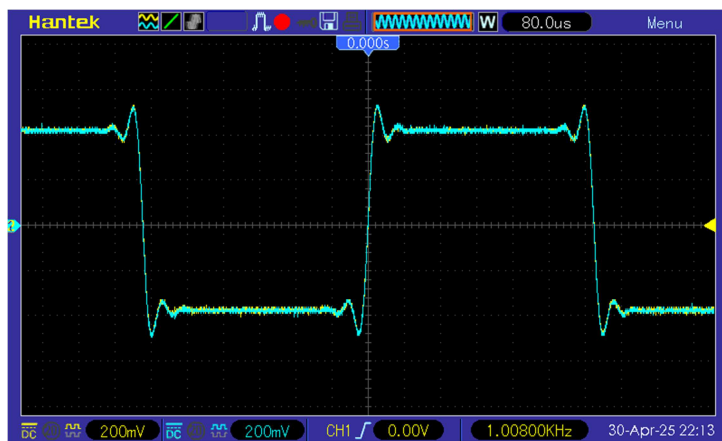


Рис.18.

Общая громкость, уровень сигнала при этом, естественно, снижается, но это не проблема поднять громкость на выходе в системном регуляторе.

Если же мы установим в системе 96 кГц и через медиаплеер воспроизведем сигнал меандра, записанный с частотой 44,1 и 48 кГц, то увидим такой меандр.

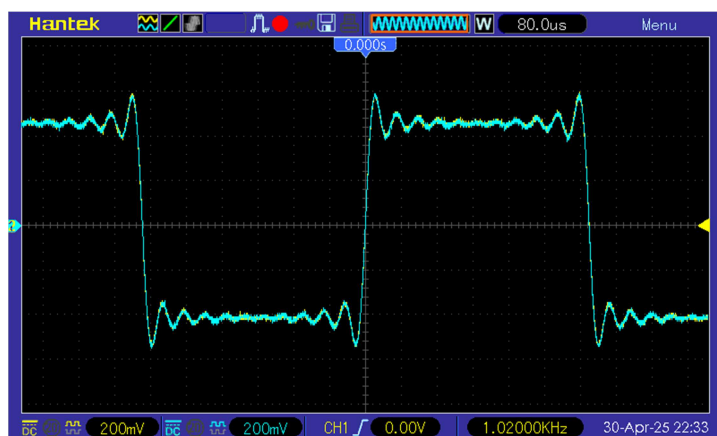


Рис.19.

Где никаких биений нет, сигнал не меняется во времени, при этом видим, что полочка НЧ понижена, не достигает положенных 600 мВ, а форма ВЧ колебаний стандартная, до и после фронта сигнала, так как используется при пересчете классический фильтр. Как видим, **Windows система принципиально всегда понижает полочку меандра с уровнем записи 0 дБ при любой передискретизации.**

Очень может быть, что это на звуке сказывается положительно, потому, что мне больше нравится слушать Яндекс.Музыку при частоте в системе 48 кГц/32 бит, что есть настройка драйвера ЦАП по умолчанию. Я не знаю, что влияет, биения во времени, ВЧ колебания, которые возникают при передискретизации исходного сигнала 44,1 кГц или снижение НЧ полочки или то и другое вместе сказывается.

Конечно, все эти тонкости и изменения звука слышны на нормальном ЦАП, с низкими искажениями и ВЧ шумами на выходе, желательно, так как считаю, что ВЧ шумы влияют на звучание, хотя и находятся далеко за пределами слышимого диапазона, но в кабеле создают волновые эффекты, где закон сохранения энергии нарушается и отсюда имеем влияние кабеля на

звучание. Притом слышно в наушниках, на обычных встроенных картах, на обычных колонках для компьютера разница вряд ли будет заметна, хотя сегодня параметры встроенных карт растут, как и колонок...

Притом, интересно, что алгоритмы передискретизации зависят от ЦАП, от драйверов и их поддержки системой, так, например ЦАП **SIMGOT DEW4X** и в плеере Eddict делал передискретизацию вообще качественно, без биений меандра, на 5-ой странице в pdf документе <https://m-fiz.ru/wp-content/uploads/2024/10/Perediskretizatsiya.pdf> Но, тут же, на ЦАП Shanling UA3 биения при передискретизации возникают. Поэтому всё это индивидуально, зависит от согласования ЦАП и системы, от возможностей ЦАП или драйвера зависит.

01.05.2025