



Виртуальный прибор для измерения коммутационных искажений УМЗЧ

Александр Петров, г. Минск

Исследуя продукты искажений УМЗЧ с помощью измерителя нелинейных искажений С6-7 и двухлучевого осциллографа, я обратил внимание, что при переходе сигнала через ноль на выходе большинства усилителей класса АВ происходят всплески напряжения импульсного характера, особенно проявляющиеся на высоких частотах. Подобные искажения принято называть коммутационными.

В [1] была опубликована статья Сергея Рубальского в которой он предложил исследовать коммутационные искажения с помощью дифференциального фильтра **рис. 1** и двух тестовых сигналов подаваемых на вход усилителя с частотами 100 Гц и 50 кГц в соотношении примерно 3:2.

Я обрадовался этой новинке, и стал использовать его на практике, не вникая в особенности его работы. Однако вскоре выяснилось, что с некоторыми усилителями он ведет себя не корректно, требует на входе дополнительного резистора 2...10 Ом. Тогда я снял АЧХ этого фильтра (**рис. 2**).

Из АЧХ видно, что тестовый сигнал частотой 50 кГц подавляется на 90 дБ (что маловато), вторая гармоника подавляется на 50 дБ (300 раз, что очень много), третья подавляется на 12,6 дБ (более чем в 4 раза) и только четвертая гармоника проходит без подавления. Наличие на АЧХ резонансных пиков указывает на резонансные свой-



Чтобы убедиться в этом я собрал схему **рис. 3** и провел тест с помощью комбинированного сигнала: синусоидального частотой 50 кГц (с пиковым напряжением 20 В) и импульсного (амплитудой 20 мВ) синхронного с переходом через ноль синусоидального сигнала (**рис. 4**).

Из **рис. 4** видно, что амплитуда выделенного сигнала напоминает синусоиду частотой 650 кГц

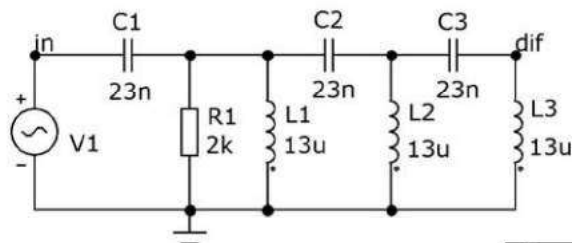


Рис. 1

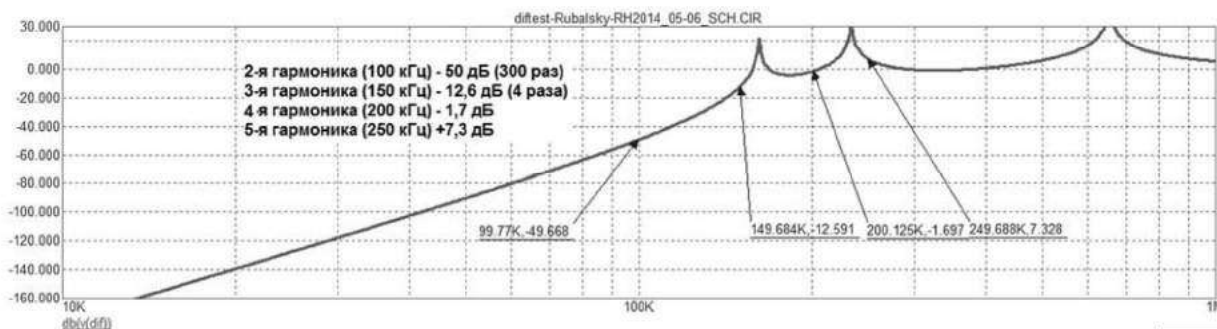


Рис. 2

ства фильтра, поэтому, полученная с его помощью, форма выделенного сигнала искажений будет малоинформативной. Она будет содержать продукты переходных процессов в самом фильтре. Понятно, что измерениям с помощью такого фильтра грош цена.

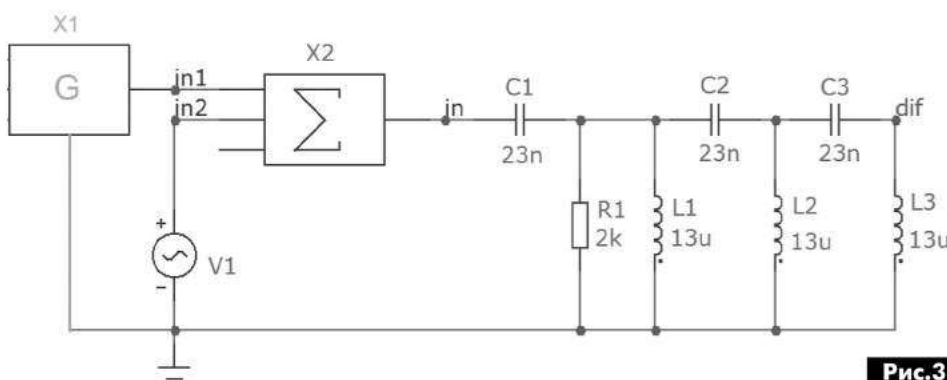


Рис. 3

и амплитудой более 150 мВ со всплесками до 200 мВ противоположными исходному импульсному сигналу. Включение на входе фильтра резистора сопротивлением 2...10 Ом уменьшает амплитуду

нала частотой 20 кГц более 200 дБ. АЧХ в полосе пропускания выше 28 кГц достаточно линейная с завалом 6 дБ (2 раза) за счет согласованной нагрузки. Это обстоятельство легко учесть, исполь-

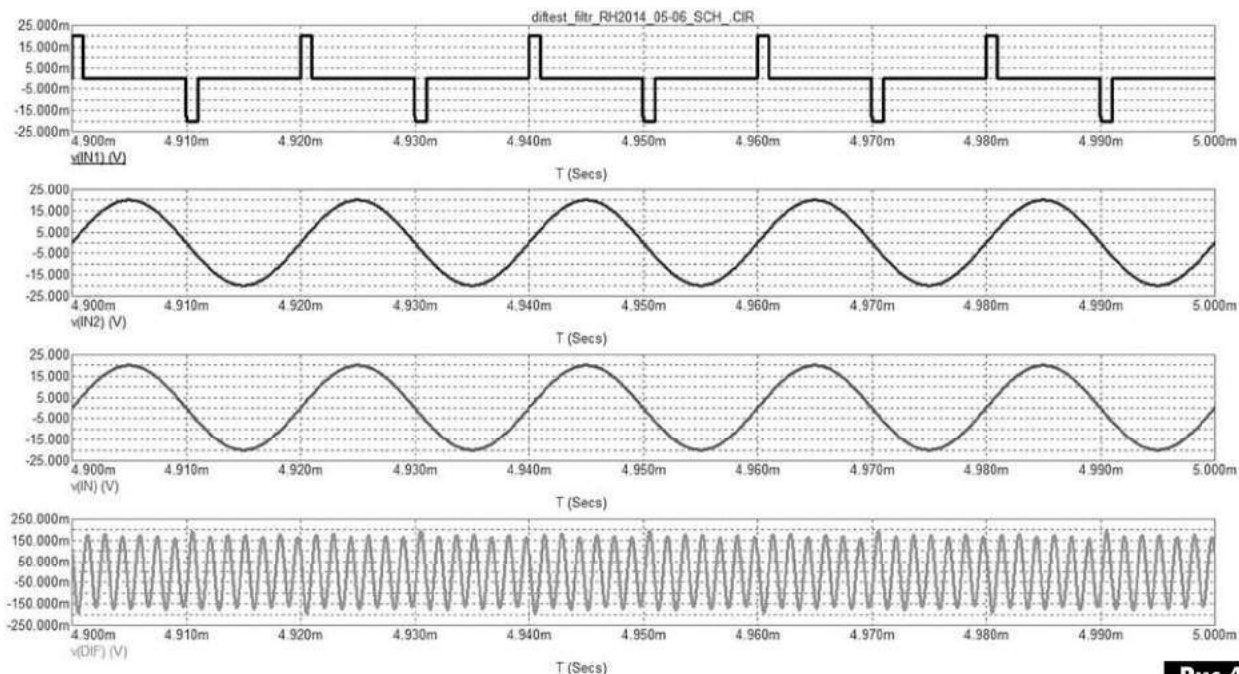


Рис.4

звона, но не способствует выделению тестового импульсного сигнала, так как 2-я гармоника подавлена на 50 дБ, а третья более чем на 12 дБ.

Стало понятно что на выходе такого фильтра нет ничего и близко напоминающего искажения, внесенные в сигнал из-за несовершенства УМЗЧ. Но сама по себе идея понравилась, и я решил реализовать ее по своему и разработал следующий фильтр, **рис.5**.

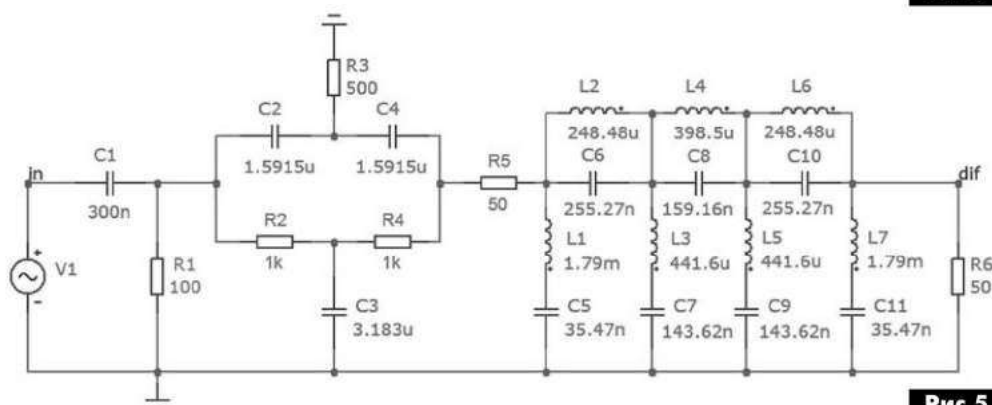


Рис.5

Фильтр представляет собой последовательно включенные режекторные фильтры на частоту 100 Гц и 20 кГц с выходом согласованным на 50 Ом. АЧХ такого фильтра представлена на **рис.6**.

Как видно из характеристики подавление тестового сигнала частотой 100 Гц более 150 дБ, и сиг-

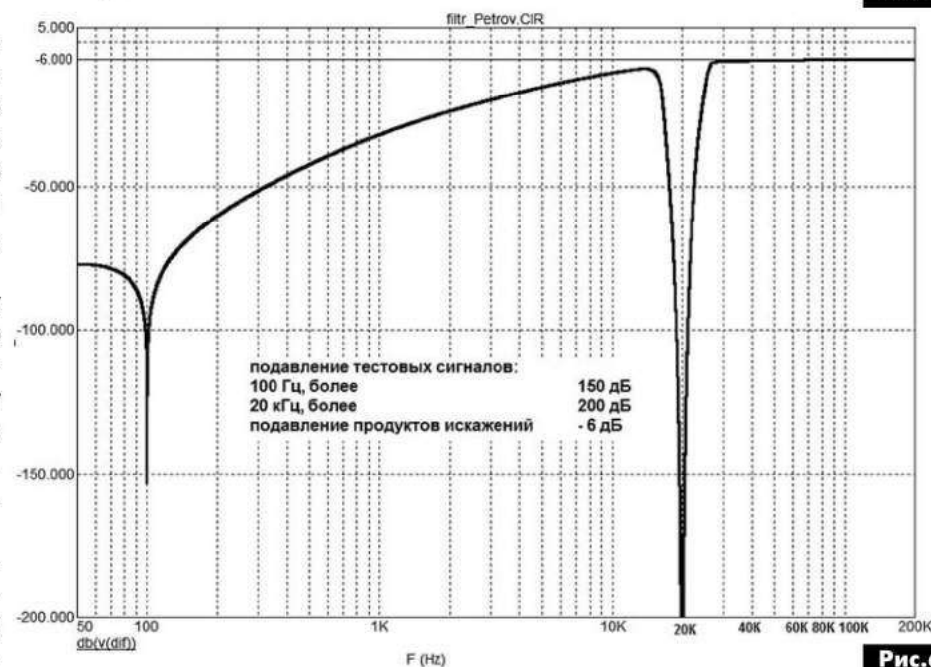


Рис.6



зую при измерениях множитель 2. Таким образом, все гармоники тестового сигнала частотой 20 кГц пройдут на выход одинаково ослабленными на 6 дБ

Проведем аналогичный тест фильтра по схеме **рис.7**. Результат тестирования показан на **рис.8**.

Результат анализа Analysis/Transient в программе микрокап при использовании тестовых сигналов 100 Гц и 20 кГц показан на **рис.10**.

Коммутационные искажения при переходе через ноль (третья осциллограмма) не носят явно

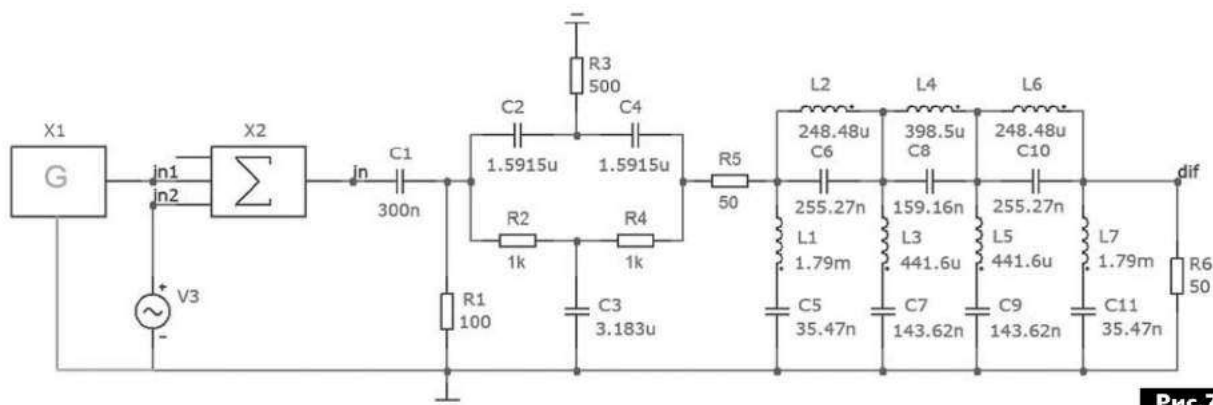


Рис.7

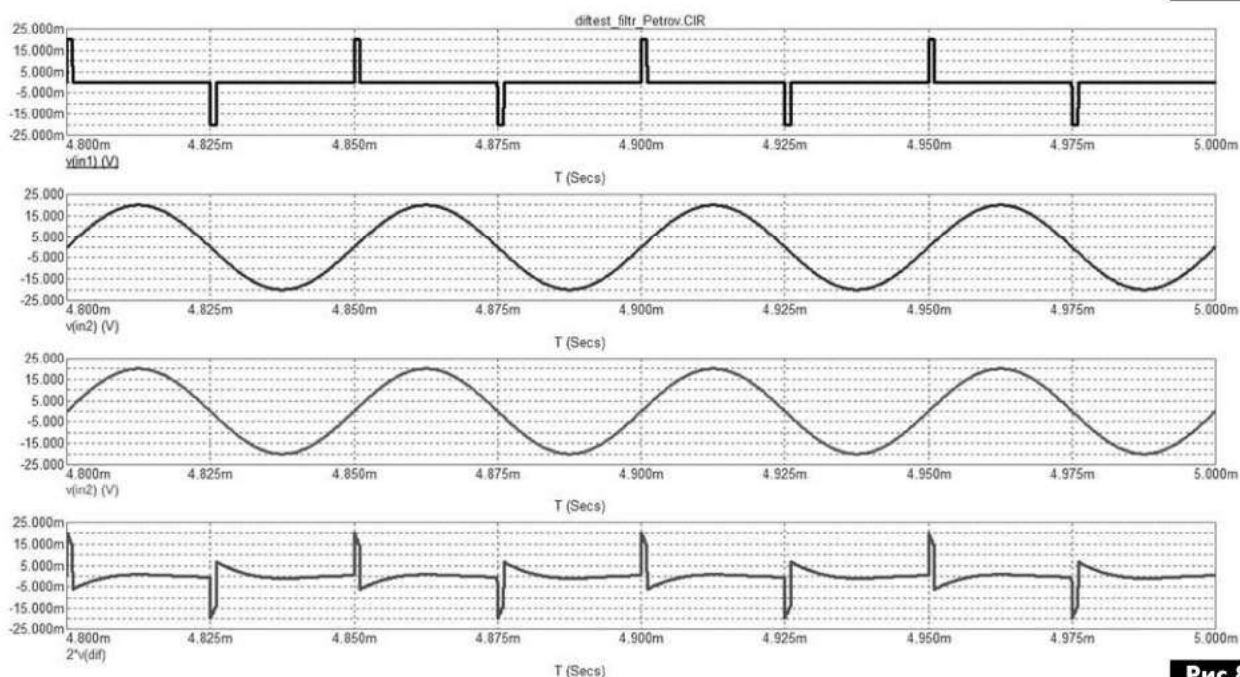


Рис.8

Как видим, даже такой сложный сигнал как импульсный выделился на выходе фильтра без потери амплитуды и с правильной привязкой по времени с небольшими дифференциальными искажениями формы характерными для фильтров ВЧ.

Проверим работу «приставки» для оценки искажений выходного каскада УМЗЧ Dartzeel NHB-108, **рис.9**.

Немного об этом самом УМЗЧ. Усилитель без общей ООС и состоит из двух независимых узлов: усилителя напряжения (УН) с ТОС и параллельного выходного каскада (ВК) без эмиттерных резисторов в выходных транзисторах. Ток покоя задают генераторы тока (ГСТ) в эмиттерах входных повторителей и с указанными на схеме номиналами составляет примерно 100 мА что соответствует классу АВ. Максимальный выходной ток зависит как от h_{219} выходных транзисторов, так и от тока этих ГСТ.

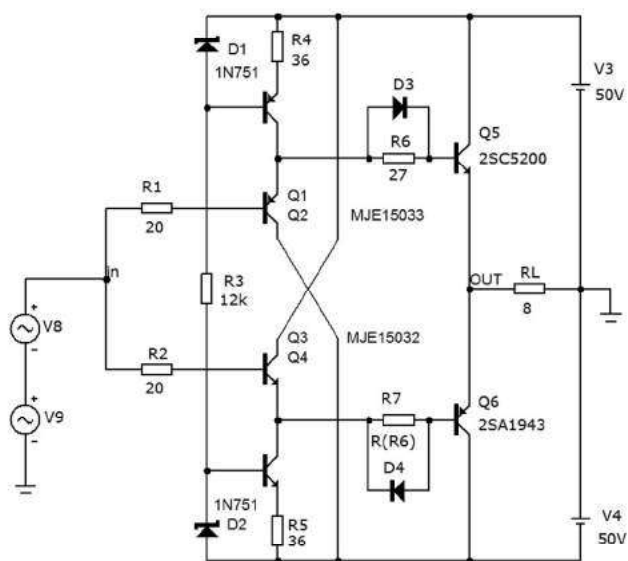


Рис.9

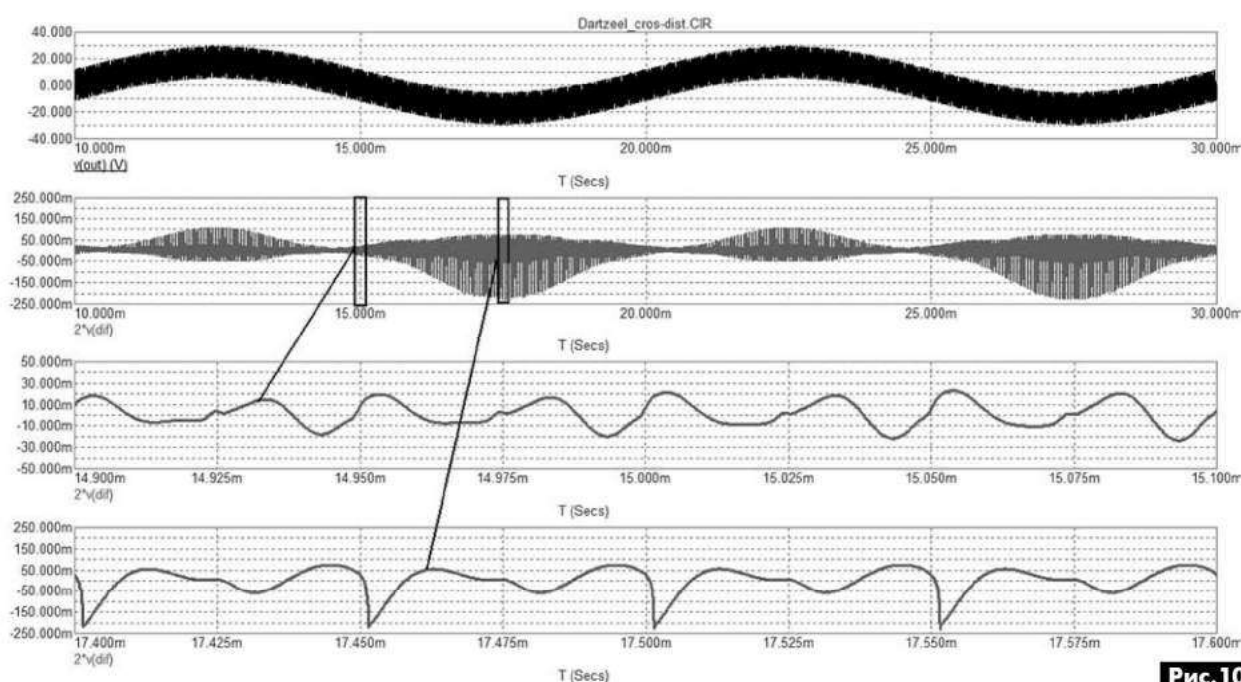


Рис.10

выраженный резкий характер благодаря отсутствию эмиттерных резисторов. Небольшая горбинка в момент времени 14.925 мс, а также перегиб в момент времени 14.950 мс далее повторяются через 50 мкс. Общий уровень достигает 15 мВ при амплитуде 30 В (пик) что составляет 0.05%. В то же время на отрицательной полуволне в период времени с 17 до 18 мс имеют место максимальные искажения достигающие 250 мВ (пик), что соответствует уровню искажений до 0.83%.

Ну а что же нелинейные искажения, измеряемые традиционным способом? На рис.11 приведена зависимость K_g от частоты при выходном напряжении 30 В (пик)

Согласно графику искажения выходного каскада (ВК) примерно до 5 кГц составляют 0.15%, и к 20 кГц достигают 0.26%. Это согласуется и с исследованиями реального промышленного образца [2]. Согласно статье усилитель имеет два режима тока покоя:

- экономичный, в котором мы и провели анализ;
- с повышенным током покоя, в котором усилитель имеет повышенную нагрузочную способность и несколько меньшие искажения на высоких частотах, примерно те же 0.15%.

Таким образом, предложенный фильтр (рис.5) можно использовать для изучения не

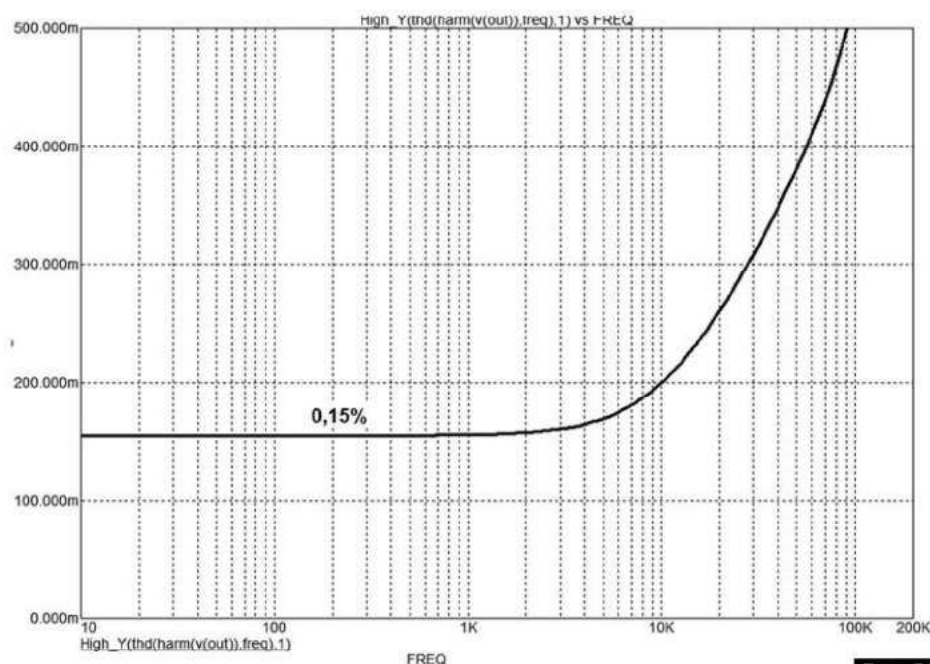


Рис.11

только коммутационных искажений усилителей звуковой частоты, но и просто продуктов искажений как дополнительный виртуальный прибор.

Надеюсь, разработчики аудиоусилителей по достоинству оценят эту «приставку».

Литература:

1. С. Рубальский, Транзисторная альтернатива ламповому однотакту // Радиохобби. – 2014. - №5-6. – С.4
2. John Atkinson, darTZeel NHB-108 Model One power amplifier Measurements, <https://www.stereophile.com/content/dartzeel-nhb-108-model-one-power-amplifier-measurements#OiVvoicull00BQgq.97>