

Искажения вносимые традиционно применяемыми пассивными элементами в УМЗЧ

Принято считать что линейные искажения не портят звук, мол они не вносят продуктов искажений (дополнительных гармоник). Но это справедливо только для установившегося режима на чистой синусоиде постоянной амплитуды. В звуковых сигналах такого и близко нет. Вот АЧХ, ФЧХ и ГВЗ типовой RC-цепочки устанавливаемой на входах усилителей как радиочастотный фильтр, частота среза 160 кГц. Во многих усилителях она отсутствует. Параллельно включена и индуктивность 30 мкГн, та что стоит на выходе усилителя Lynx-17.

Графики представлены как в логарифмическом масштабе, так и в линейном.

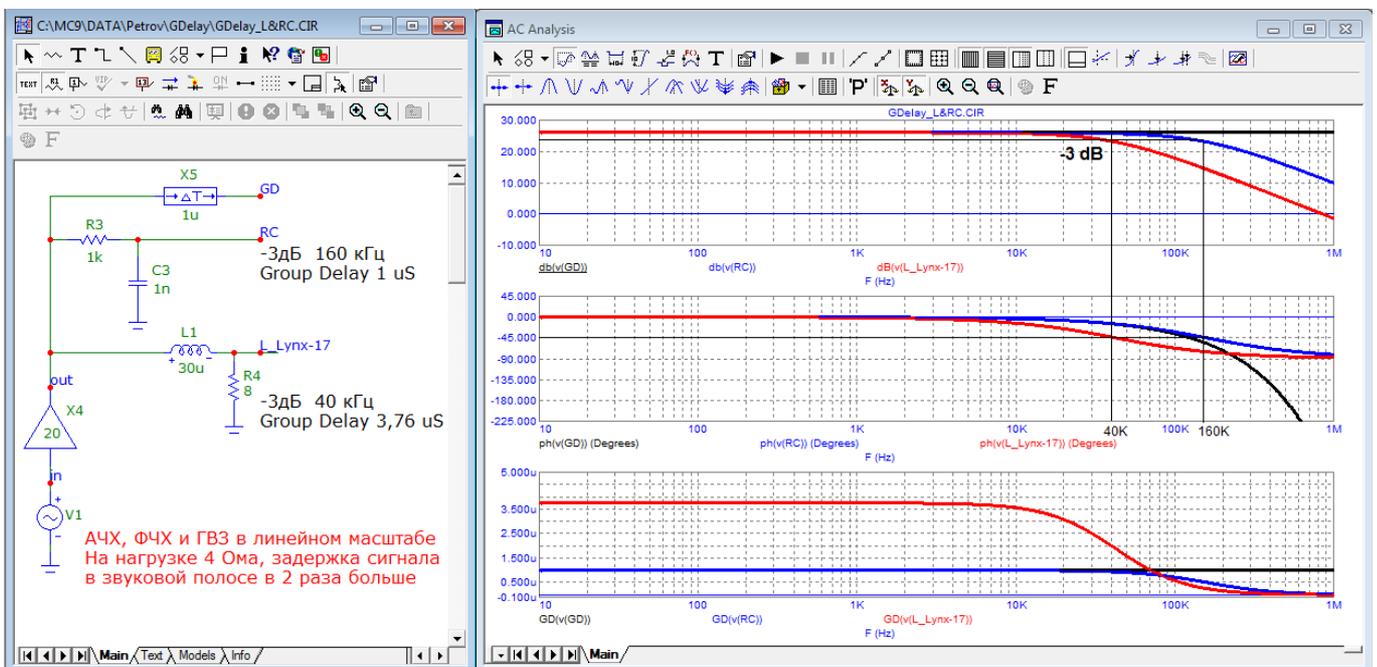
Представим себе что усилитель Lynx-17 идеальный с $K_u=30$ и проведем тестирование. Тест Хафлера SWDT совмещен с компенсационным методом измерения искажений. Наиболее удобный и наглядный тест на сложном бурсте частотой 10 кГц у которого начало линейно нарастает, далее следует участок с постоянным уровнем и заканчивается бурст участком линейного затухания.

Тест SWDT показывает большой уровень векторных искажений. По Хафлеру их уровень не должен превышать -60 дБ (1/1000) или не более 30 мВ при выходном напряжении 30 В. Реально видим уровень векторных погрешностей около 7 В!

Ну а что же показывает компенсационный метод тестирования.

В установившемся режиме искажения отсутствуют, а на участках нарастания и спада амплитуда искажений равна 100 мВ. Для сигнала амплитудой 30 В это всего лишь 0,3%, казалось бы не так уж и много. Ламповые усилители вносят искажения до нескольких процентов. Беда в том что их уровень постоянен и при выходном сигнале амплитудой 100 мВ искажения также будут иметь тот же уровень, а это уже 100%. Потом удивляются почему нет микродинамики, нет нюансов звучания, звук тусклый, мертвый.

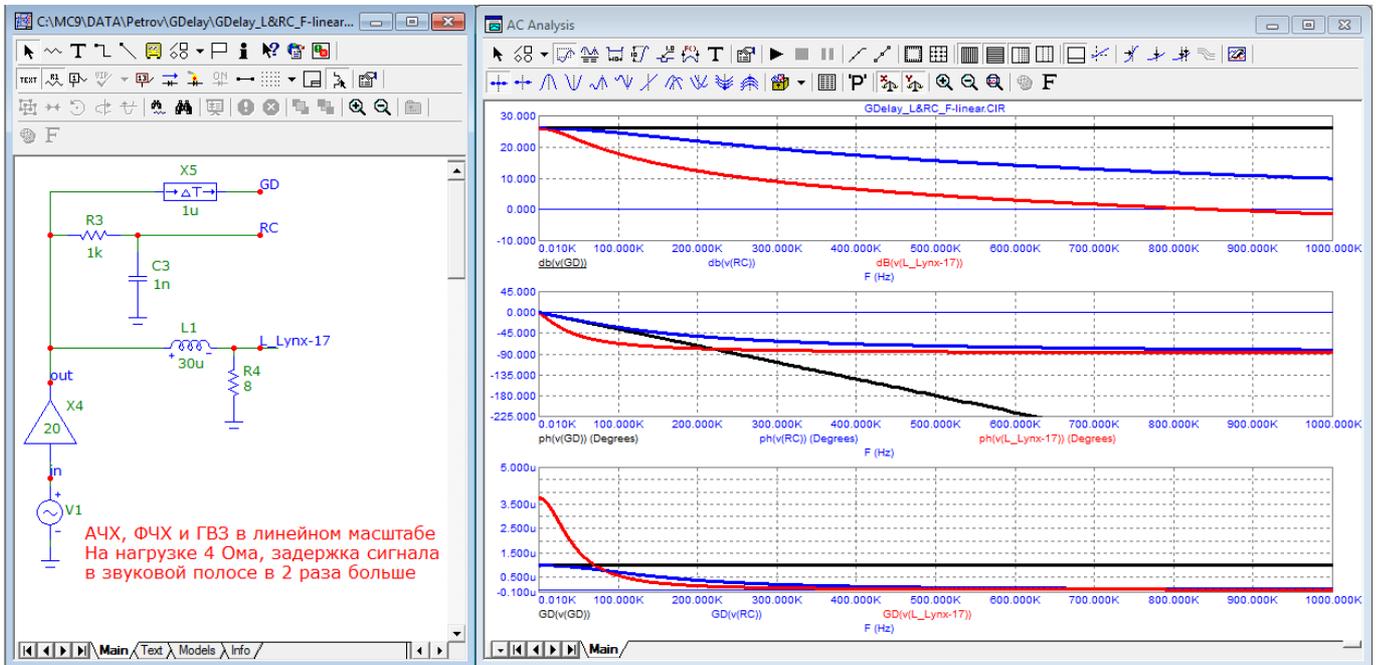
Низшие гармоники при коротком спектре напротив оживляют «консервы», придают звуку пусть и не полную естественность звучания, но гораздо лучшее качество звука чем у закорректированных усилителей с высоким значением ГВЗ. Причем ГВЗ может быть убито не только индуктивностью на выходе и tPD (time Propagation Delay) без радиочастотного фильтра (определяет бысродействие ООС), но и радиочастотным фильтром в сочетании с высокоомным потенциометром регулятора громкости, а также емкостью Миллера входного каскада.



Графики Бод идеальной линии задержки 1 мкс, RC-цепочки с ГВЗ=1мкс в звуковом диапазоне и индуктивности 30 мкГн.

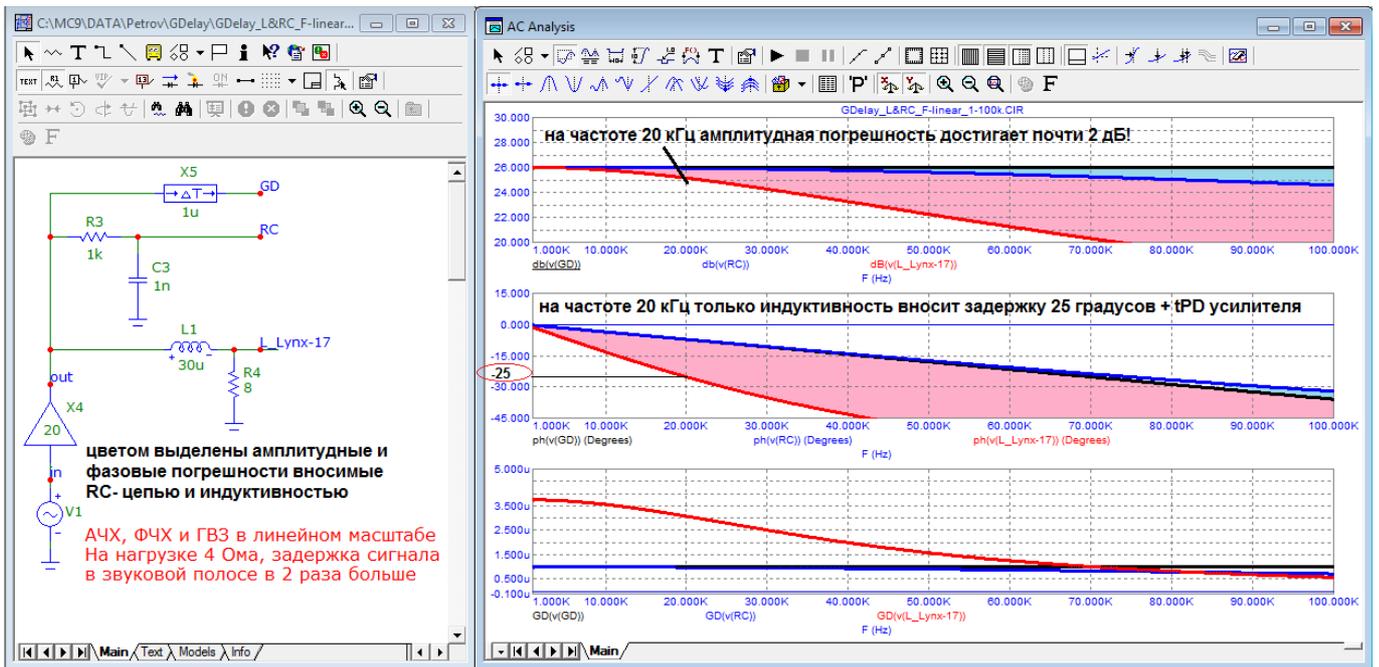
Из графиков видно что ГВЗ RC-цепочки начинает активно заваливаться за звуковым диапазоном. ГВЗ индуктивности падает с нескольких кГц.

Посмотрим эти же графики в линейном масштабе.



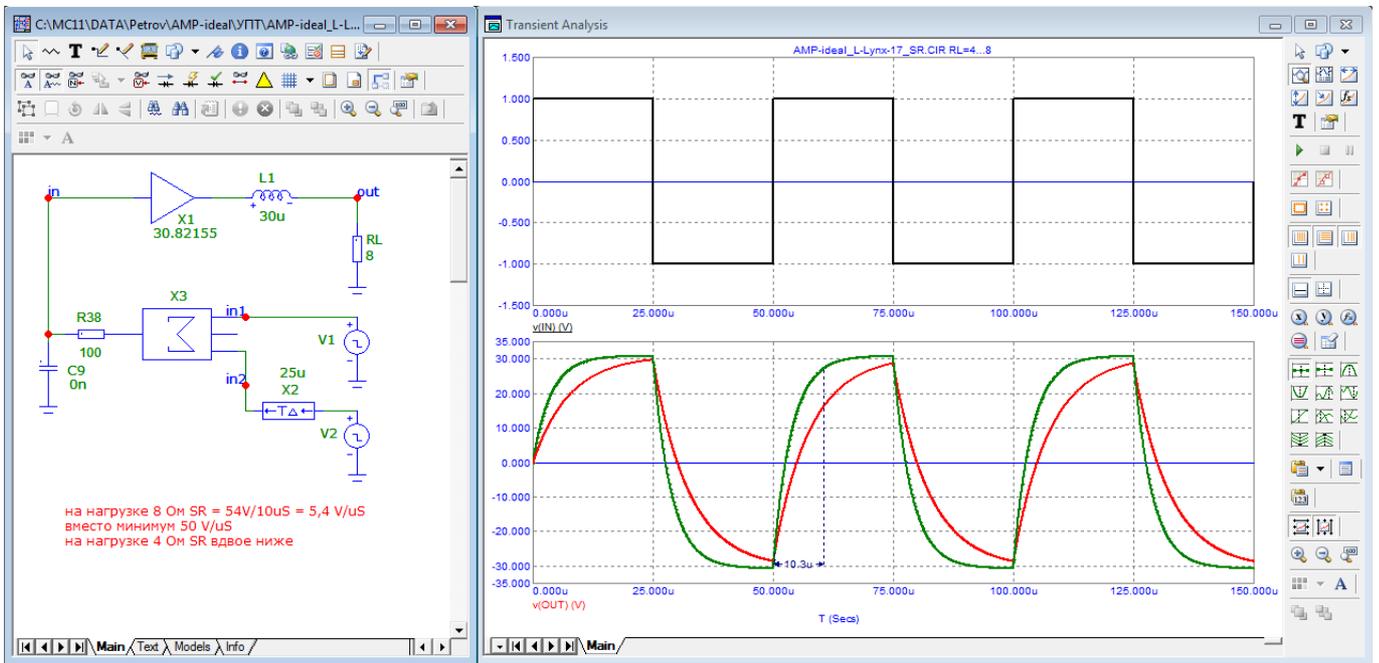
На первом графике видно что фаза идеальной линии задержки изменяется линейно. Нет изменений фазы сигнала и ГВЗ константа. Таким образом ГВЗ хороший индикатор поведения фазы выходного напряжения. Чем стабильнее ГВЗ, тем меньше и фазовых искажений в области постоянства ГВЗ.

Для большей наглядности растянем участок от 1 кГц до 100 кГц



Цветом выделены вносимые как амплитудные (верхний график), так и фазовые искажения (второй график). Считается что на частоте 20 кГц допустим фазовый сдвиг до 10 градусов (так считает Боб Корделл). Только одна индуктивность в усилителе Lynx-17 дает фазовый сдвиг 25 градусов.

Проверим какова скорость нарастания выходного напряжения при такой индуктивности на выходе. Принято считать что для усилителей класса Hi-Fi она должна быть как минимум 50 В/мкс.



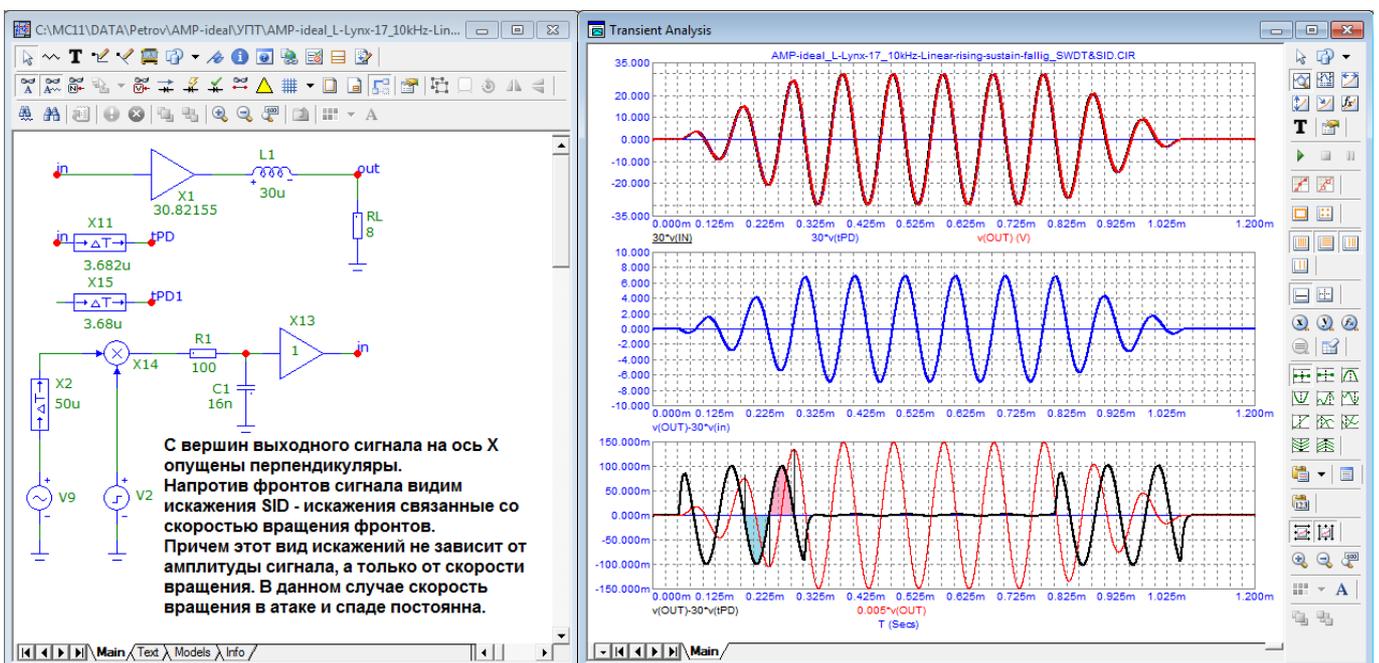
Как видим из теста только одна индуктивность ограничивает скорость нарастания до 2,5...5 В/мкс. При этом ПСН = 5 В/мкс/30 В = 0,17 1/мкс вместо минимальной нормированной SR по справочнику Шкритека равной 1.

Максимальная выходная частота, при которой происходит ограничение нарастания, прямо пропорциональна скорости нарастания и обратно пропорциональна амплитуде сигнала. Это позволяет нам определить «полосу пропускания полной мощности» (FPBW) усилителя.

$$FPBW = \text{Slew Rate} / 2\pi V_p$$

Откуда $FPBW = 5,4 / (6,28 * 30) = 0,029$ МГц или 29 кГц что ничтожно мало для высококачественного звукоусиления.

Подадим на вход идеального усилителя с индуктивностью 30 мГн на выходе бурст частотой 10 кГц с участком линейного нарастания амплитуды сигнала (атака), участком с постоянным уровнем (сустэйн) и участком линейного спада.



Нетрудно убедиться что только на участке с постоянным уровнем сигнала нет искажений SID так как нет вращения фронтов. Именно от скорости нарастания амплитуды сигнала зависит скорость вращения фронтов сигнала а значит и уровень вносимых искажений SID. Участки атаки и спада вносят искажения напротив фронтов сигнала. Причем уровень искажений зависит только от скорости нарастания/спада амплитуды сигнала. Здесь необходимо отличать скорость нарастания сигнала SR от скорости нарастания амплитуды сигнала, т.е. его огибающей. В начале бурста, также как и в конце, скорость нарастания SR ничтожно мала, в сотни раз меньше необходимой SR для усилителей Hi-Fi класса.

Мы рассмотрели искажения вносимые только индуктивностью на выходе усилителя. Аналогичные искажения внесет и входной радиочастотный фильтр, если сильно постараться. Более того, часто к сопротивлению этого фильтра добавляется и выходное сопротивление источника сигнала, в том числе и сопротивление регулятора громкости (если такой стоит на входе УМЗЧ). В результате полоса пропускания даже широкополосного усилителя ограниченная традиционно применяемым фильтром 1 кОм, 1 нФ (частота среза 160 кГц) может сужаться ниже 20 кГц. Понятно что качество звука такого усилителя будет только хуже, микродинамика будет убита.

Александр Петров
17.01.2025