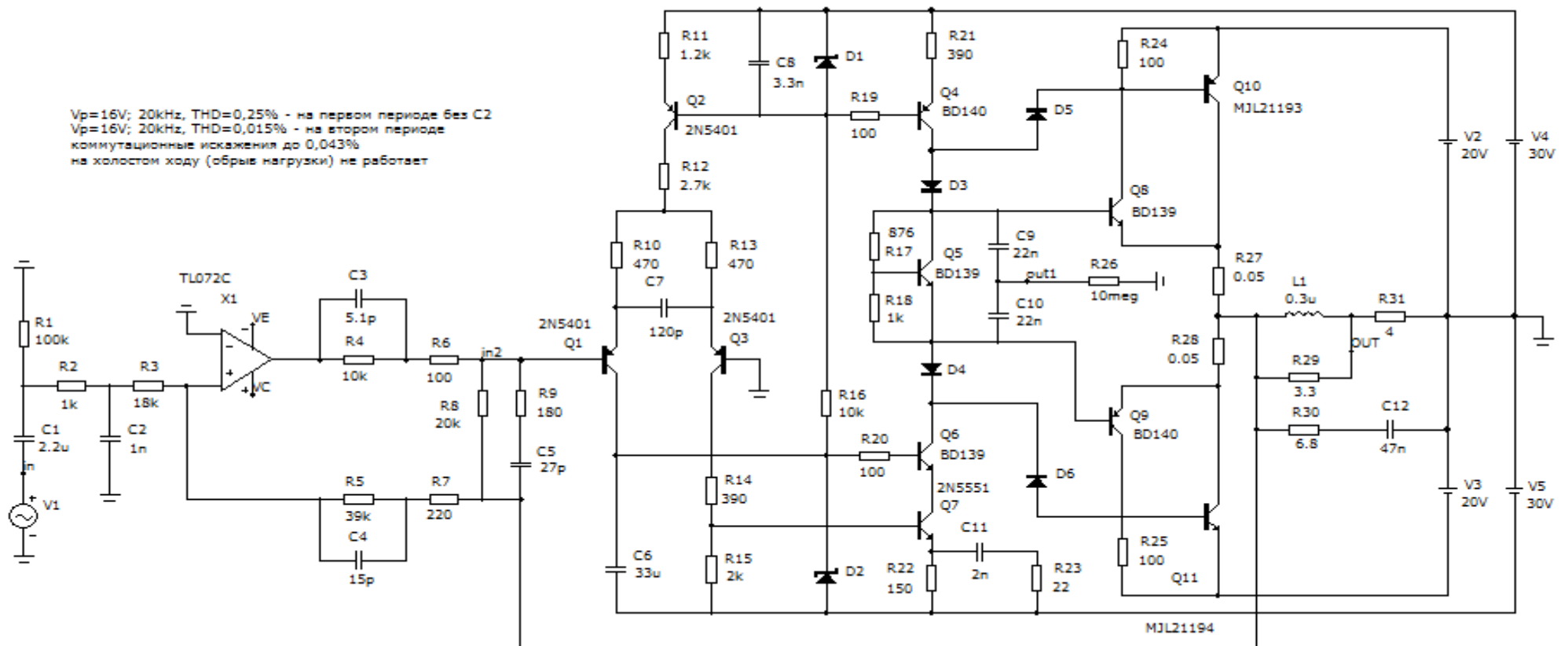


Композит Валета или инвертирующий ВК с коэффициентом усиления 2

Цель разработки которую поставил перед собой автор сделать УМЗЧ класса АВ без коммутационных искажений. Для этого автор руководствовался следующим:

1. Правильный выбор ВК (<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=40146&p=1114878&viewfull=1#post1114878>)
2. Обеспечить токовый режим управления ВК
3. Обойтись без коррекции Миллера в УН (перед ВК) уменьшающей его выходное сопротивление
4. Обеспечить большую глубину ООС для эффективного подавления коммутационных искажений в усилителе класса АВ

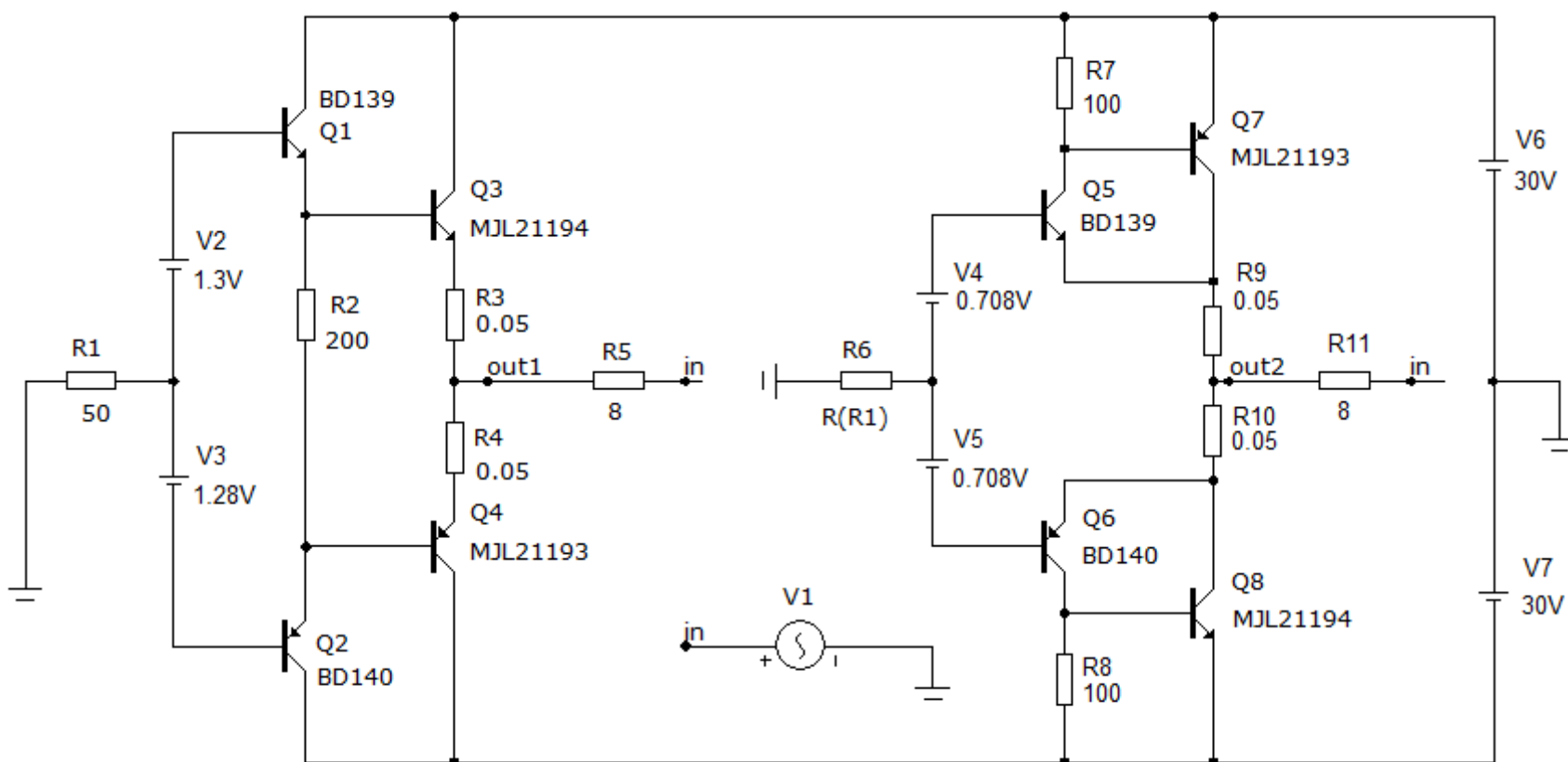
Результатом разработки является усилитель по схеме представленной ниже



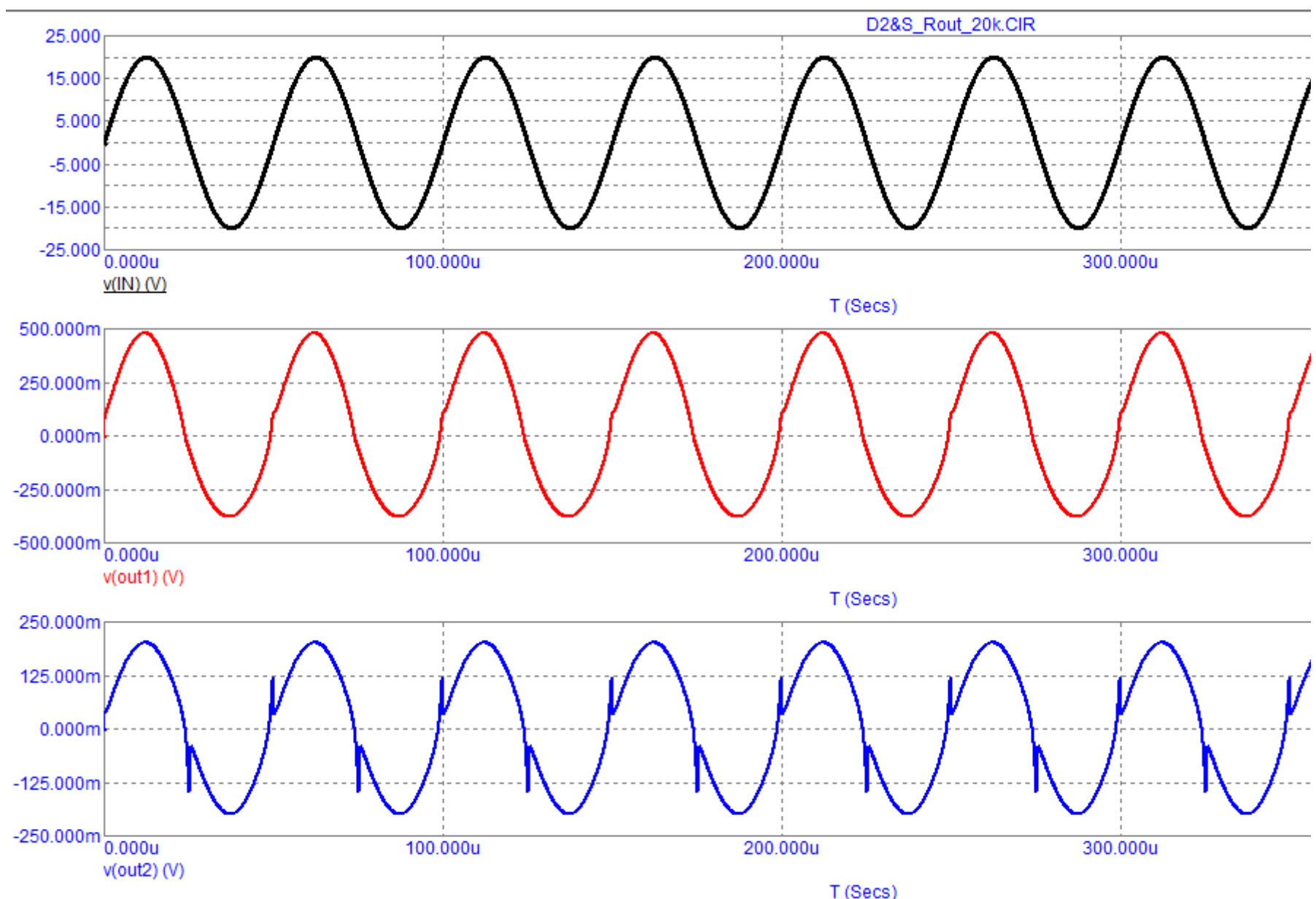
Каким же образом достигнута поставленная цель. Начнем по порядку.

Автор остановил свой выбор на «двойке» Шиклаи. Если говорить об альтернативном варианте «двойке» Дарлингтона, то входные сопротивления у них примерно одинаковые с той лишь разницей что Шиклаи имеет большую входную емкость и уже полосу пропускания из-за двойного эффекта Миллера (последовательное включение ОЭ-ОЭ со 100% ООС). Согласно исследованиям Дугласа Селфа УМЗЧ с ВК Шиклаи имеет преимущество только низких частотах, на частоте 10 кГц уже проигрывает УМЗЧ с «двойкой» Дарлингтона, а к концу звукового диапазона уже существенно ему уступает. Это же подтверждают и результаты моделирования.

Посмотрим выходное сопротивление двух типов повторителей на частоте 20 кГц.



Токи покоя обоих ВК одинаковы и равны по 100 мА. Напряжение генератора V1 равно 20 В.



Выходное сопротивление ВК на транзисторах Шиклаи почти в 2 раза ниже, чем у ВК на транзисторах Дарлингтона, а также более симметричное благодаря 100%-й ООС. Несмотря на это при переходах через ноль мы наблюдаем явно выраженные коммутационные искажения большого уровня, почти до 100 мВ, что при амплитуде напряжения на выходе равном 200 мВ составляет почти 50%!

Что касается токового управления ВК, то это заблуждение автора, так как ВК управляется напряжением, а не током. УН в петле ООС является источником напряжения, а не тока, причем как показали исследования с отрицательным выходным импедансом.

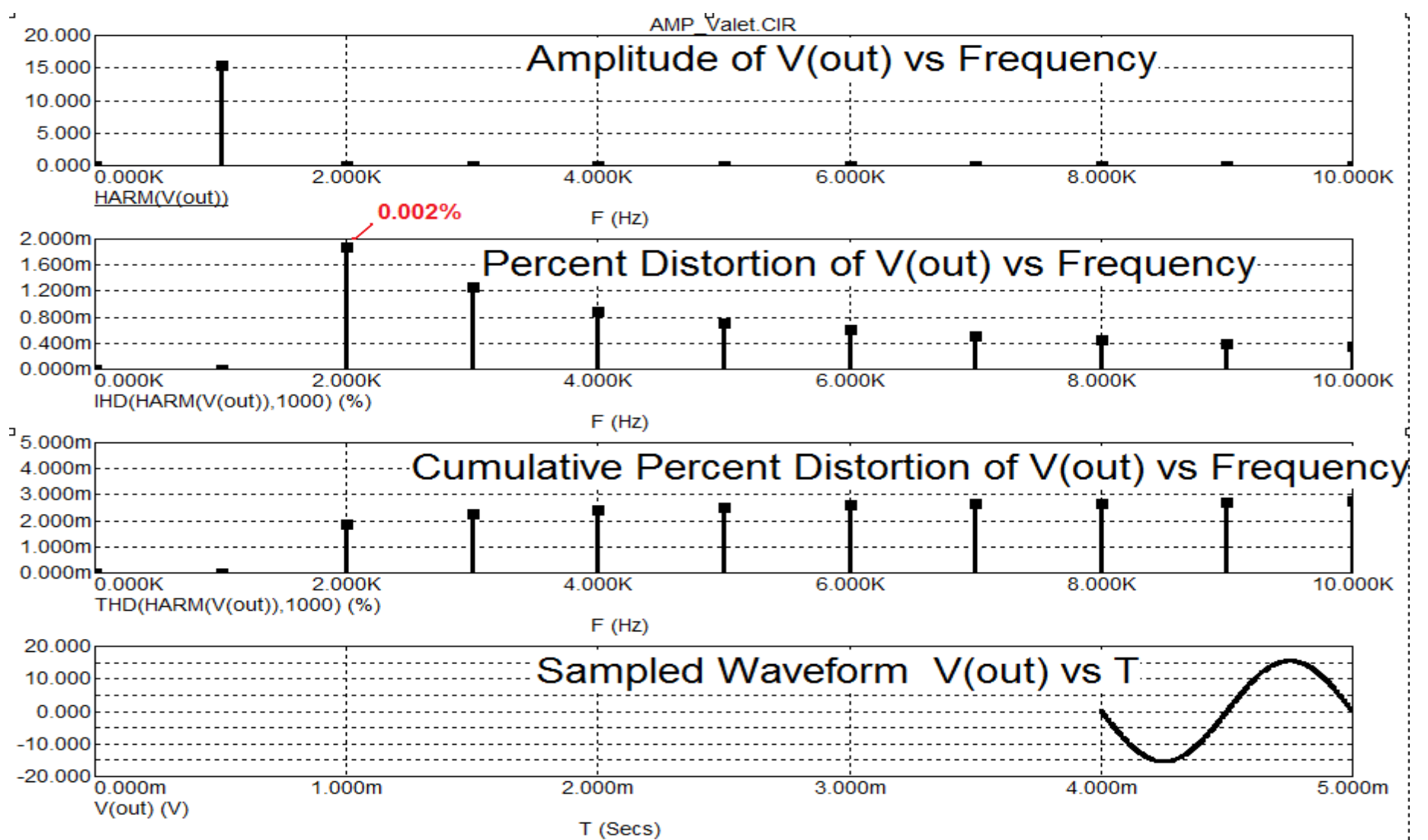
Для обеспечения глубокой ООС автор выполнил усилитель композитным, да еще с коэффициентом усиления всего 2. Для смягчения переключательных искажений автор выбрал достаточно большой ток покоя 250 мА (вместо оптимального для класса АВ с Шиклаи равного 25...50 мА).

Реально достигнутые параметры:

Полоса пропускания 78 кГц. (<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=29546&p=893831&viewfull=1#post893831>) [1]

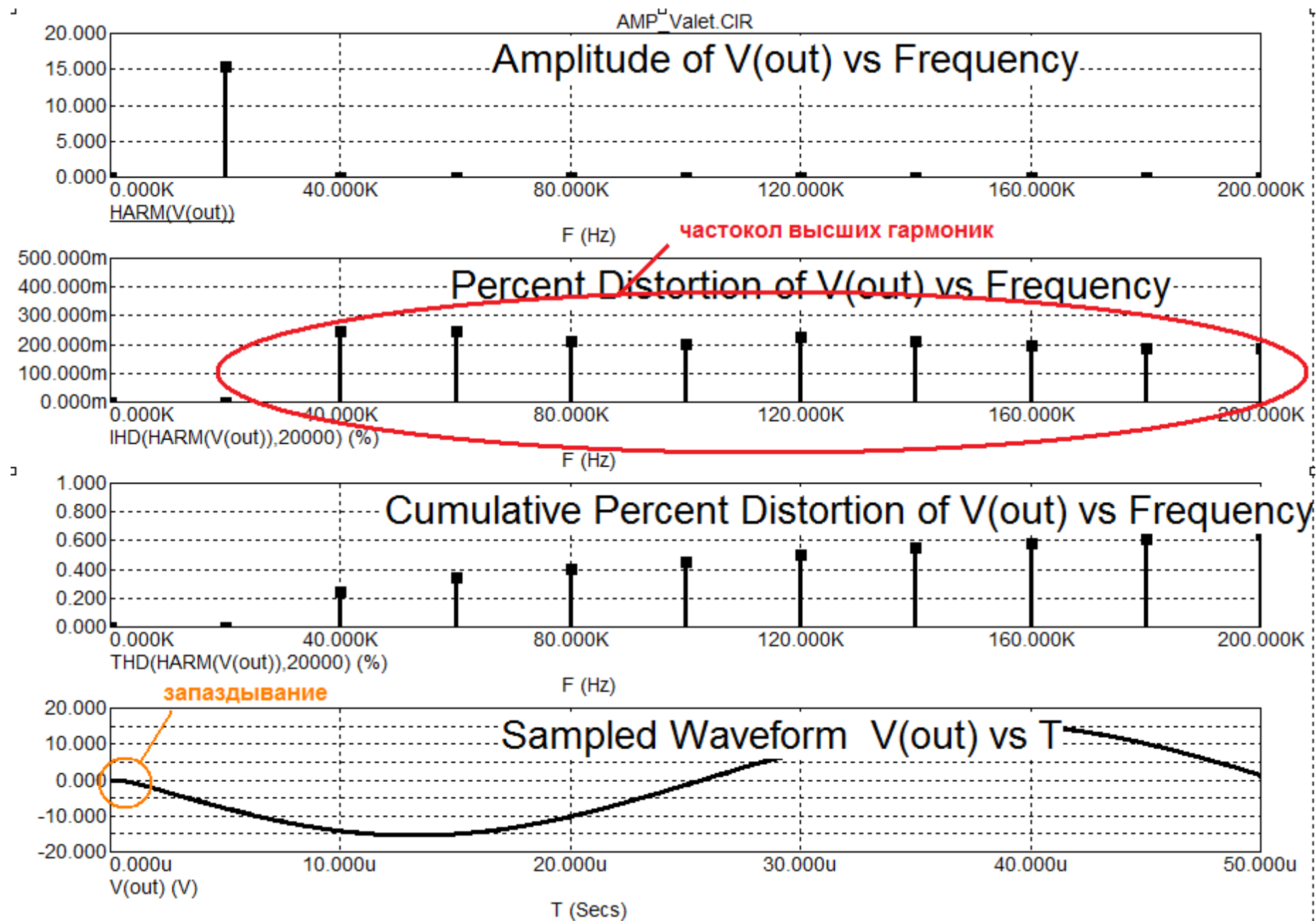
Это говорит о том что фаза сигнала уже крутится с 8 кГц и даже раньше поэтому говорить об эффективном снижении искажений во всем звуковом диапазоне (в том числе и коммутационных искажений) вряд ли придется.

На нагрузке 4 Ома $K_T=0,00074\%$ (видно со 2 по 8 гармонику [1]), т.е даже в установившемся режиме имеется хвост высших гармоник.



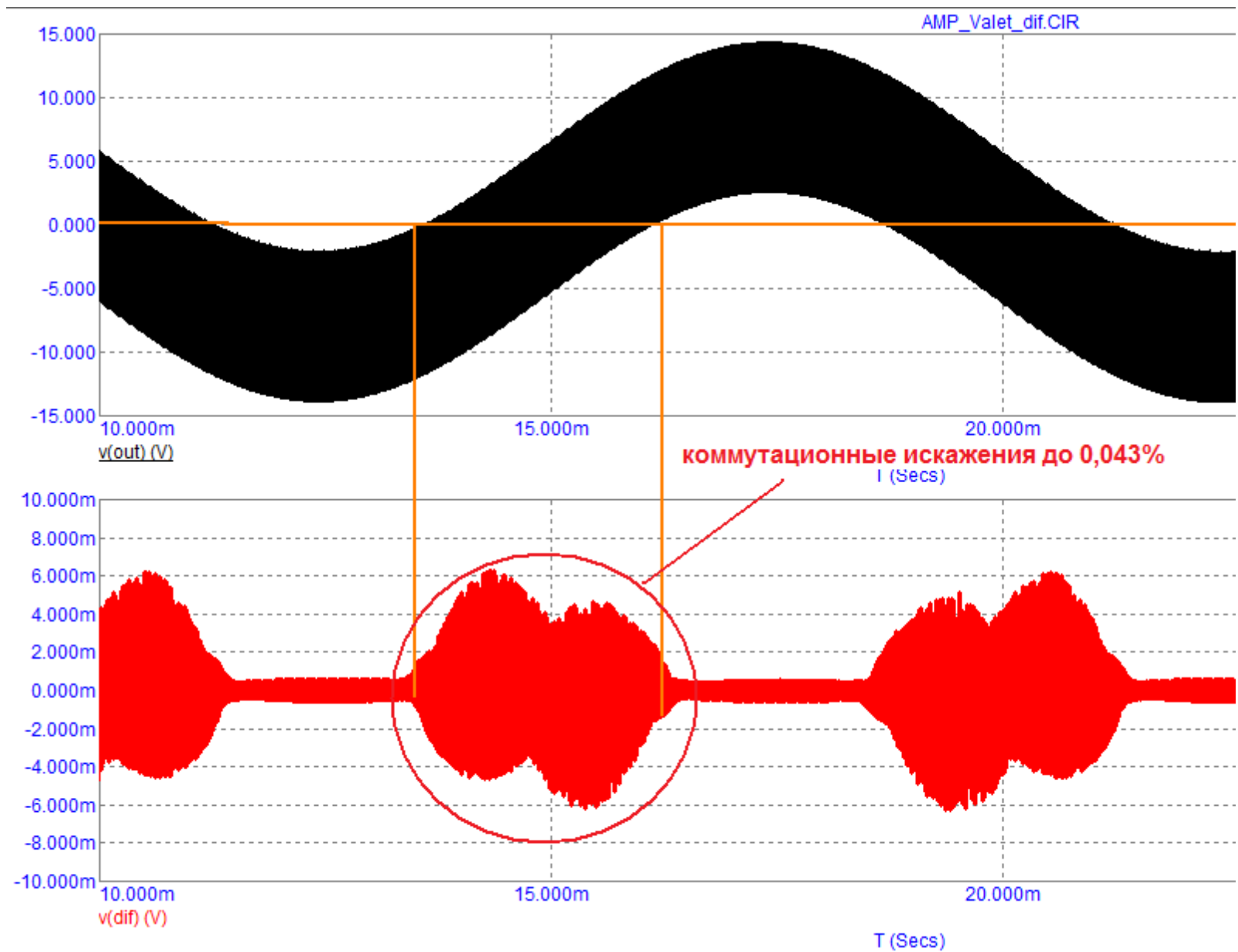
В модели на частоте 1 кГц искажения несколько выше, $K_T=0,03\%$ и даже в установившемся режиме с большим хвостом высших гармоник. Я уже не раз отмечал что Микрокап на самом деле является более строгим «судьей» и параметры измеренные на реальных образцах с помощью,

например, Audioprecision были примерно на порядок лучше.
Заодно проверим Кг на частоте 20 кГц, чтобы исключить влияние входного фильтра отключим C2

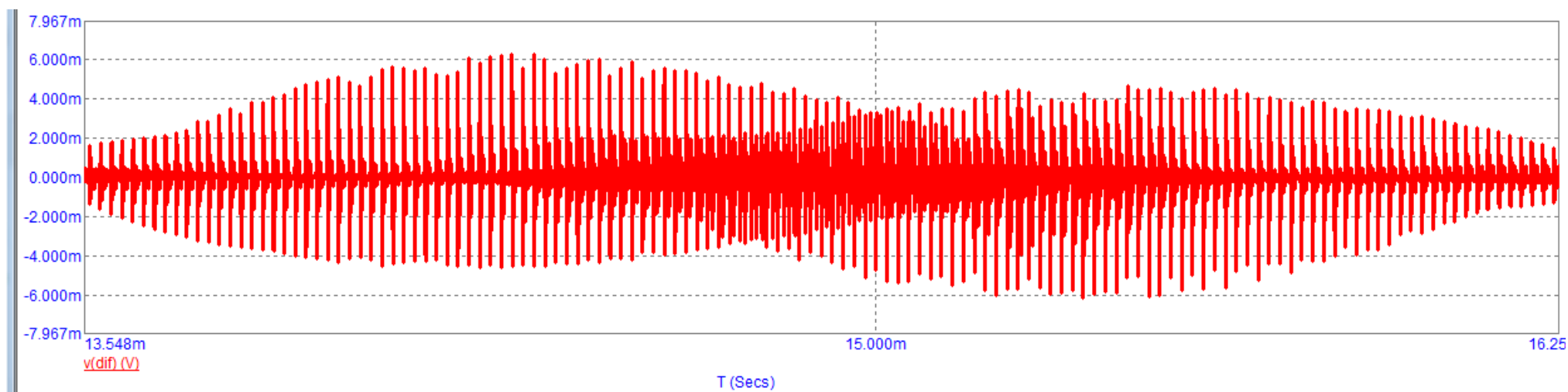


Даже если учитывать только одну вторую гармонику, то Кг = 0,25%

Оценим коммутационные искажения с помощью дифтеста Рубальского



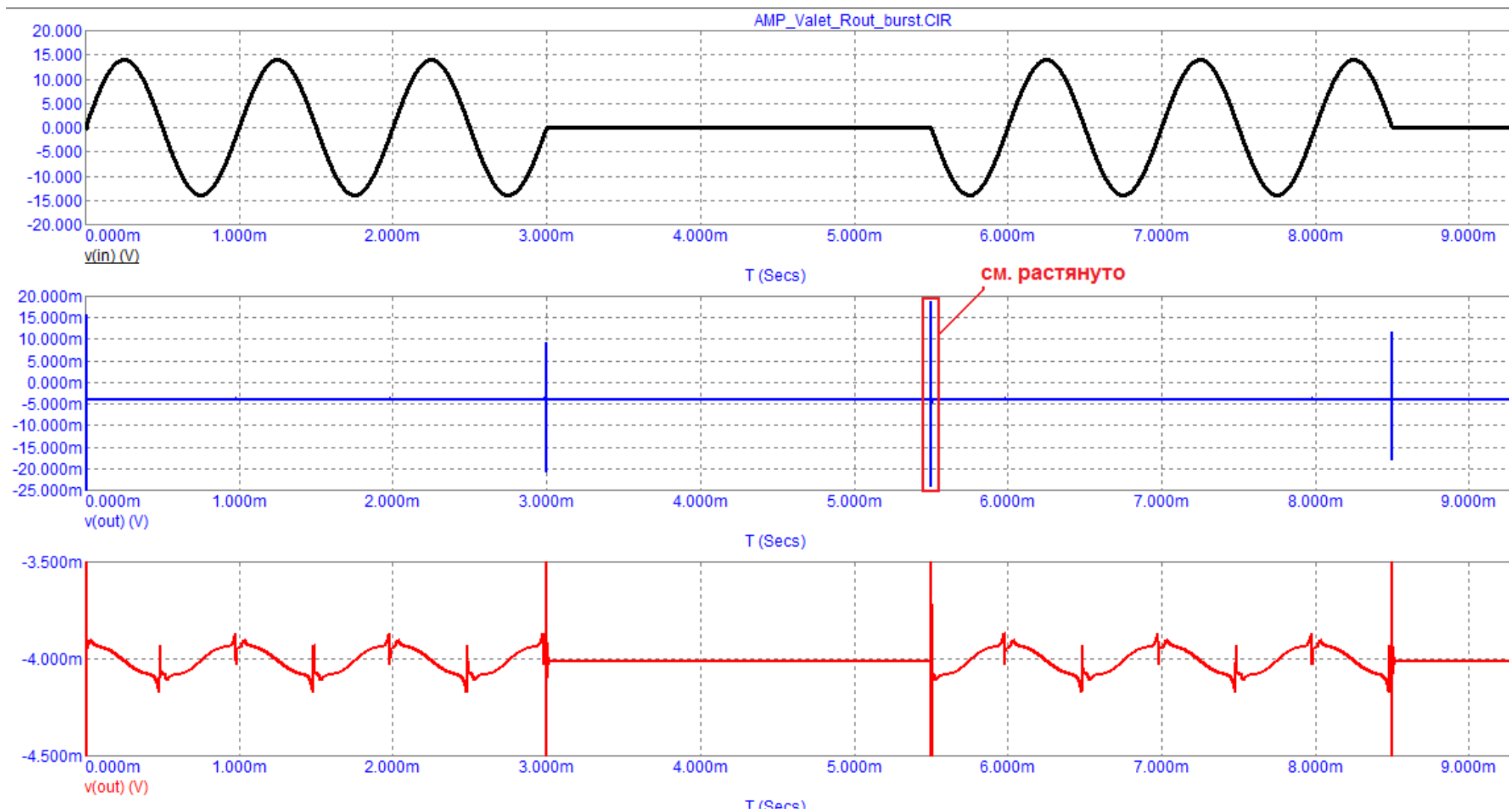
Растянем область коммутационных искажений



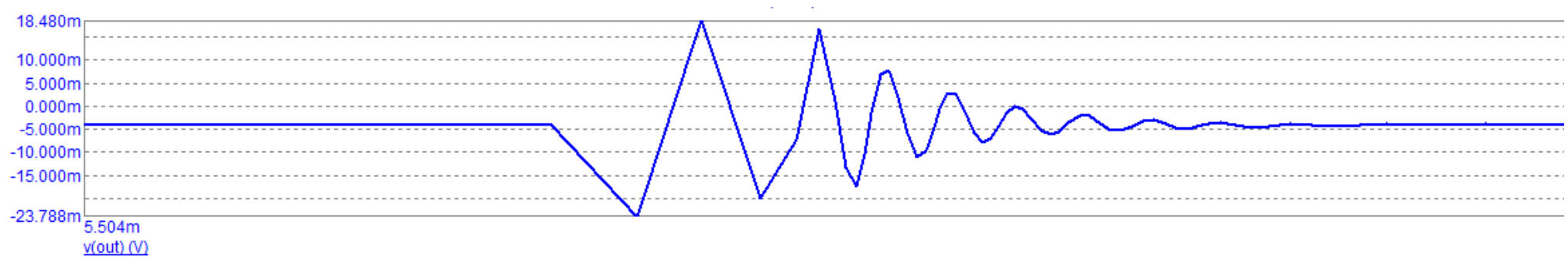
Шаг между всплесками вверх-вниз равен 20 мкс (с частотой 50 кГц). В средней части (затемненная область) шаг равен 10 мкс и поочередно вверх и вниз (рисунок ниже). На сигнале наблюдаем высокочастотные всплески говорящие о потенциальной неустойчивости.



Подадим сигнал в виде бурстов частотой 1 кГц через номинальную нагрузку на выход усилителя (один из способов оценки выходного сопротивления)



Судя по второй осциллограмме (синяя) выходное сопротивление очень низкое (практически равно нулю благодаря очень глубокой ООС). Третья осциллограмма (красная) то же самое в растянутом виде по вертикали. Тем не менее при перегибах в нагрузке, где нарушается установившийся режим возникают высокочастотные всплески благодаря запаздыванию ОС.



растянуто

Чтобы в момент выключения бурста не было остановки просчета из-за возбуда, пришлось генератор вместе коммутатором подшунтировать резистором 4 Ома (для исключения обрыва нагрузки, при большем сопротивлении просчет стопорится). Как видим в начале бурста и по его окончании имеет место затухающий переходной процесс, чего нет в установившемся режиме (как обычно измеряют).

Такие вспышки переходного процесса характерны для усилителей с ООС.

По поводу различий работы на стационарных сигналах и реальном музыкальном приведу цитату из работы Чивера:

"Вспышки шума, обнаруживаемые в течение первых нескольких десятых долей секунды в сложных ударных звуках рояля или клавесина, являются ключевыми элементами в процессе распознавания, как было показано в [37 с. 153] . Мозг имеет очень сложный механизм уяснения многотональности, но при определенном пороге дополнительных случайных вибраций (шумов) механизм нейронной обработки просто отказывает. Я полагаю, что обратная связь сама создает уровни интермодуляционных искажений, которые модулируют и иным образом запутывают шумовые всплески музыкальных инструментов, ведя к субъективному ощущению, что звук «искусственный»."

Вполне возможно что воздействие обратной ЭДС на выход усилителя также будет провоцировать подобные вспышки шума.

Примерно то же самое пишет и Gyula (Радиолюбитель 1999_02-05):

«Мы сначала подаем на вход усилителя сигналы от какого-либо генератора и только потом контролируем выходной сигнал. Весь метод измерения сам по себе представляет стационарный процесс: сигнал уже достаточно долго был в усилителе, прежде чем был подвергнут точному анализу. Процесс измерений достаточно длителен (например занимает несколько секунд или даже минут), а его результаты относятся к установившемуся состоянию и характеризуют непрерывное наличие стандартного, хорошо определенного измерительного сигнала на входе.

Что же происходит при прослушивании, и в чем здесь различие? Музыкальный входной сигнал, производимый, например, скрипачом, хаотично проводящим смычком по струнам скрипки, или гитаристом, свирепно дергающим струны гитары, или барабанщиком, отчаянно колотящим в барабан, или вдохновенно поющим певцом, может быть похож на что угодно, но только не на стандартный сигнал в 1 кГц. Он (входной сигнал) меняется псевдослучайным образом по амплитуде, частоте, спектральному составу и стереохарактеристикам. А уши и мозг превосходно анализируют акустическое качество такого сигнала и непогрешимо оценивают впечатления от появившихся помимо (вместо) исходной звуковой мелодии дополнительных звуковых сигналов. Мы хорошо чувствуем, что звучит музыка, но звучит еще и “что-то такое”, что хотя и как-то связано с этой музыкой, но не имеет к ней никакого отношения.»

Вывод:

Поставленная автором цель побороть коммутационные искажения в усилителе класса АВ на мой взгляд в определенной степени достигнута. Уровень коммутационных искажений достигает 0,043% (уровень иголок) что не много по сравнению с другими усилителями. Вместо усилителя разработан инвертирующий ВК с коэффициентом передачи $K=2$ и посредственными параметрами. Для того чтобы эффективно бороться с нелинейными искажениями во всем звуковом диапазоне частот и с коммутационными искажениями с помощью ООС усилитель класса АВ должен быть достаточно широкополосным (не менее несколько МГц) что нереально сделать в композитном усилителе.

Если сравнивать с другими известными решениями, то эта задача решена гораздо проще и эффективнее, например, в ВК Хаксфорда и в последней версии ВК И.Замоткина (коммутационные искажения более чем в 10 раз ниже), не говоря об искажениях на высоких частотах, где они на 2 порядка ниже по сравнению с композитом.

Краткий анализ провел
Александр Петров