

Усовершенствованный вариант УМЗЧ класса А с ТОС

В предыдущей статье был рассмотрен популярный усилитель Hiraga класса А с ТОС. С учетом указанных недостатков усилитель был доработан до вида, рис. 1

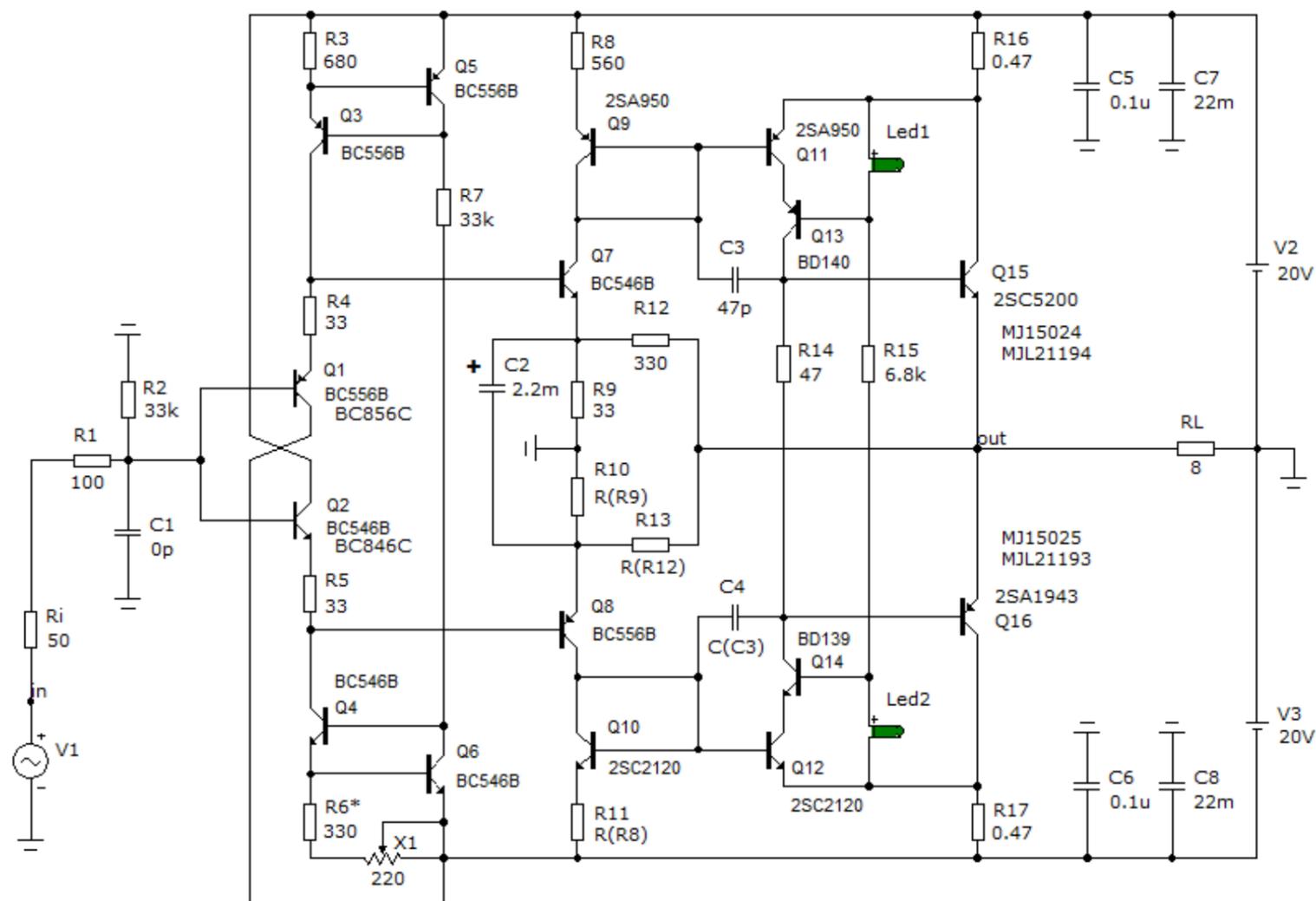


Рис. 1

Как видно из рисунка резисторы задающие ток входных повторителей заменены генераторами тока на транзисторах Q3, Q5 и Q4, Q6 в соответствии с классической структурой усилителей с ТОС. С целью снижения искажений и повышения температурной стабильности в качестве нагрузки входного каскада на Q7, Q8 использованы масштабные отражатели тока. Коэффициент отражения формируется соотношением резисторов R8/R16 (R11/R17). Благодаря ГТ режимы каскадов практически не меняются при изменении напряжения питания в пределах 20+-5 В. Для повышения эффективности работы ООС изменено включение резисторов ООС - резисторы R12, R13 подключены непосредственно к эмиттерам входных транзисторов включенных по схеме ОЭ. Конденсатор C2 служит для уменьшения искажений в области НЧ. Усилитель напряжения совмещенный с выходным каскадом выполнен каскодным со следящим питанием. Мощные выходные транзисторы подключены по более традиционной схеме без эмиттерных резисторов. Необходимость в эмиттерных резисторах отпала благодаря резисторам R16, R17. Смещение для выходных транзисторов определяет падение напряжения на резисторе R14. Эмиттерные резисторы как и в оригинальной схеме отсутствуют что наряду с классом А способствует устранению коммутационных искажений. Номинальный ток покоя 1+-0,1 А выставляют подбором резисторов R8, R11. Подстроечным резистором X1 выставляют ноль на выходе.

Снимем диаграмму Боде, рис. 2

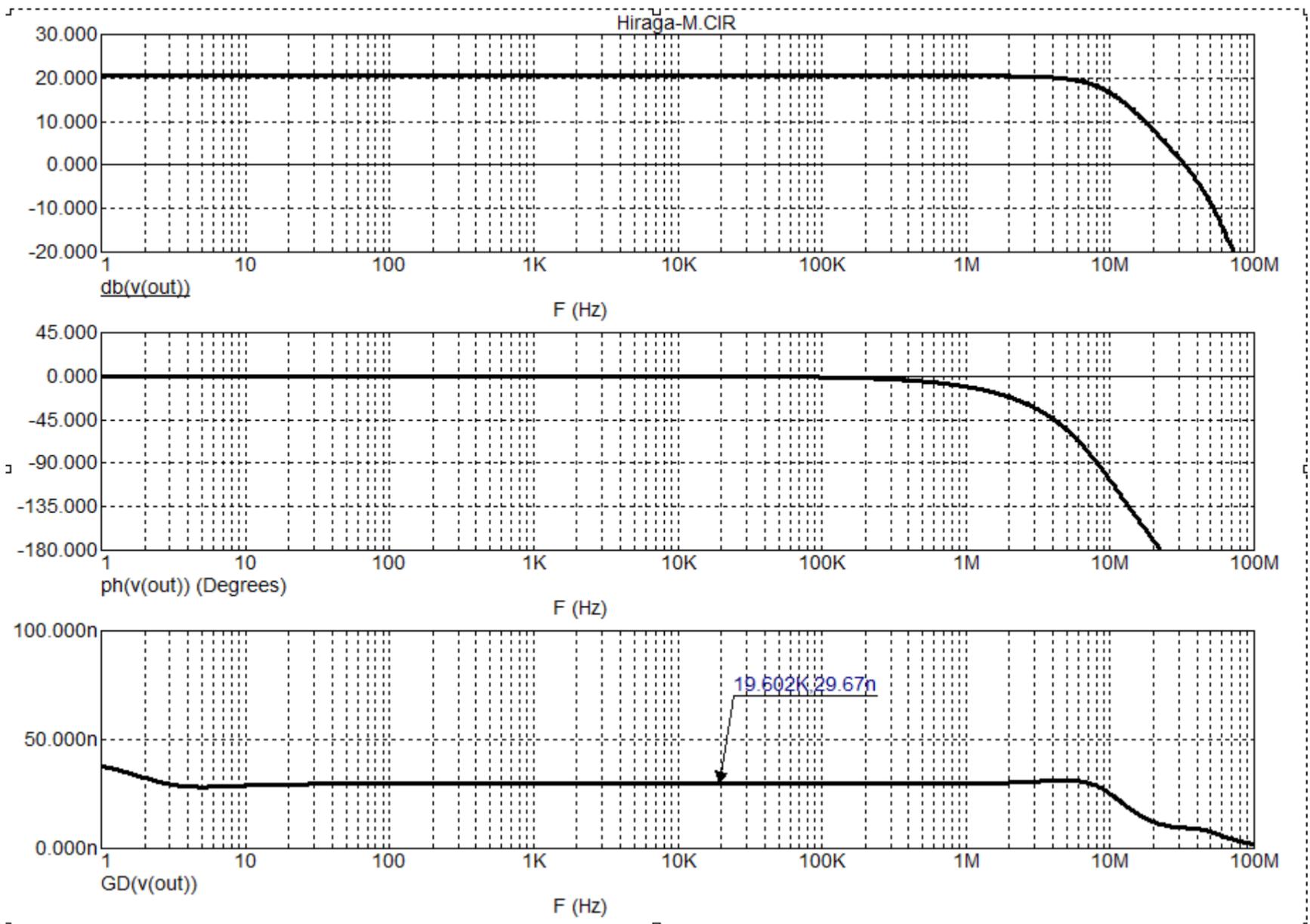


Рис. 2

Из рисунка 2 видно что задержка прохождения сигнала (Time Propagation Delay) без конденсатора на входе постоянна во всей звуковой полосе и далеко за ее пределами и равна 30 нс, что почти в 30 раз ниже чем в оригинале. Коэффициент усиления по напряжению равен 20 дБ (10 раз).

Для оценки запасов по фазе и по усилению снимем график петлевого усиления, рис. 3

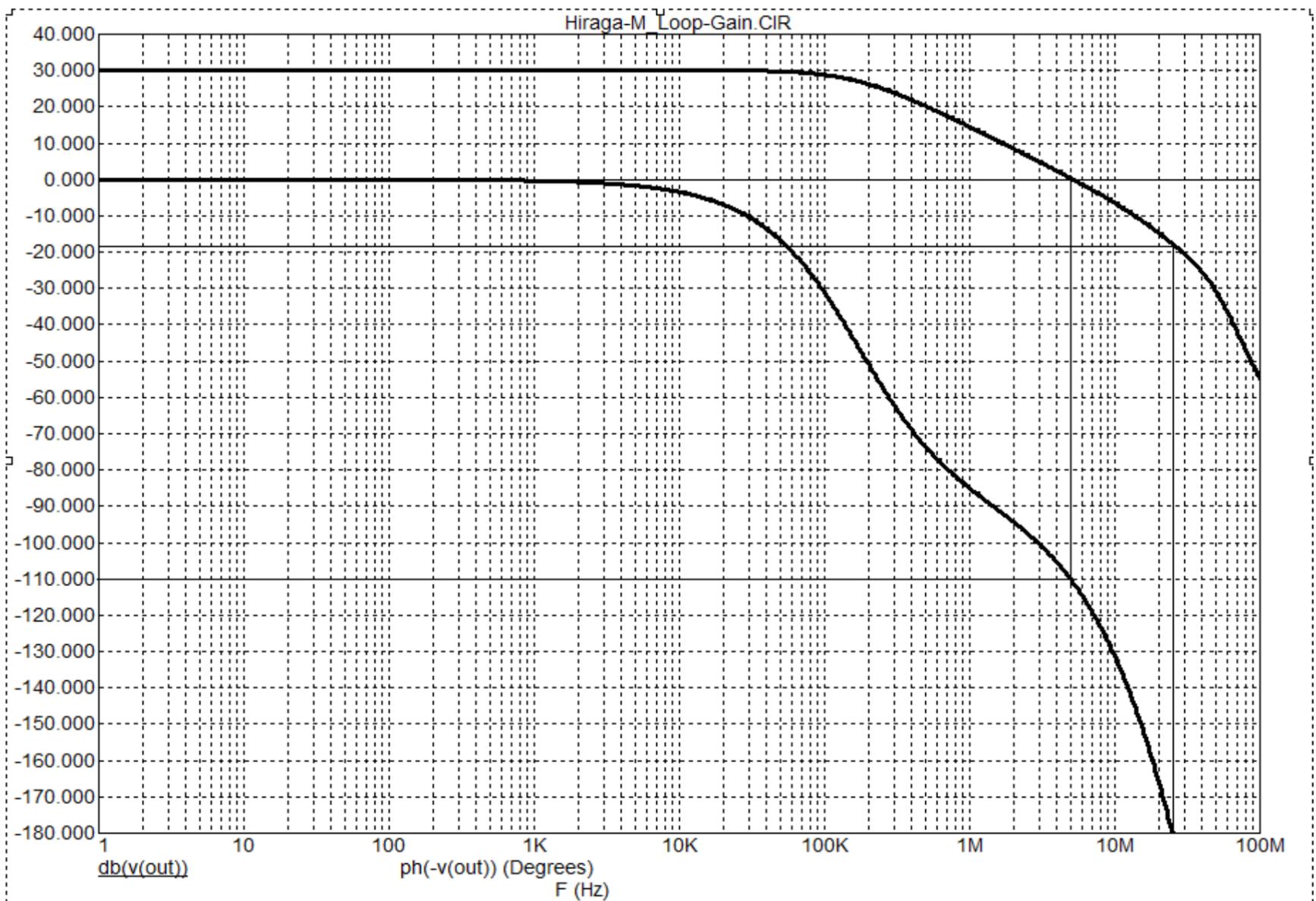


Рис. 3

Частота первого полюса с 50 кГц поднялась до 180 кГц, на 16 дБ (в 6 раз) увеличилось петлевое усиление. Запас по фазе составляет 70 градуса что является оптимальным для переходной характеристики на импульсных сигналах типа меандр. Запас по амплитуде равен 18 дБ. Фазовращение сигнала ООС на частоте 20 кГц составляет всего 7 градусов.

Один из способов проверки усилителя на устойчивость к самовозбуждению — увеличение глубины ООС в 2 раза с помощью уменьшения резисторов ООС в 2 раза. Мы же проведем проверку поведения усилителя при работе на реактивную нагрузку в виде конденсатора. Для этого снимем график петлевого усиления без емкостной нагрузки и с емкостной нагрузкой 2 мкФ, рис. 4

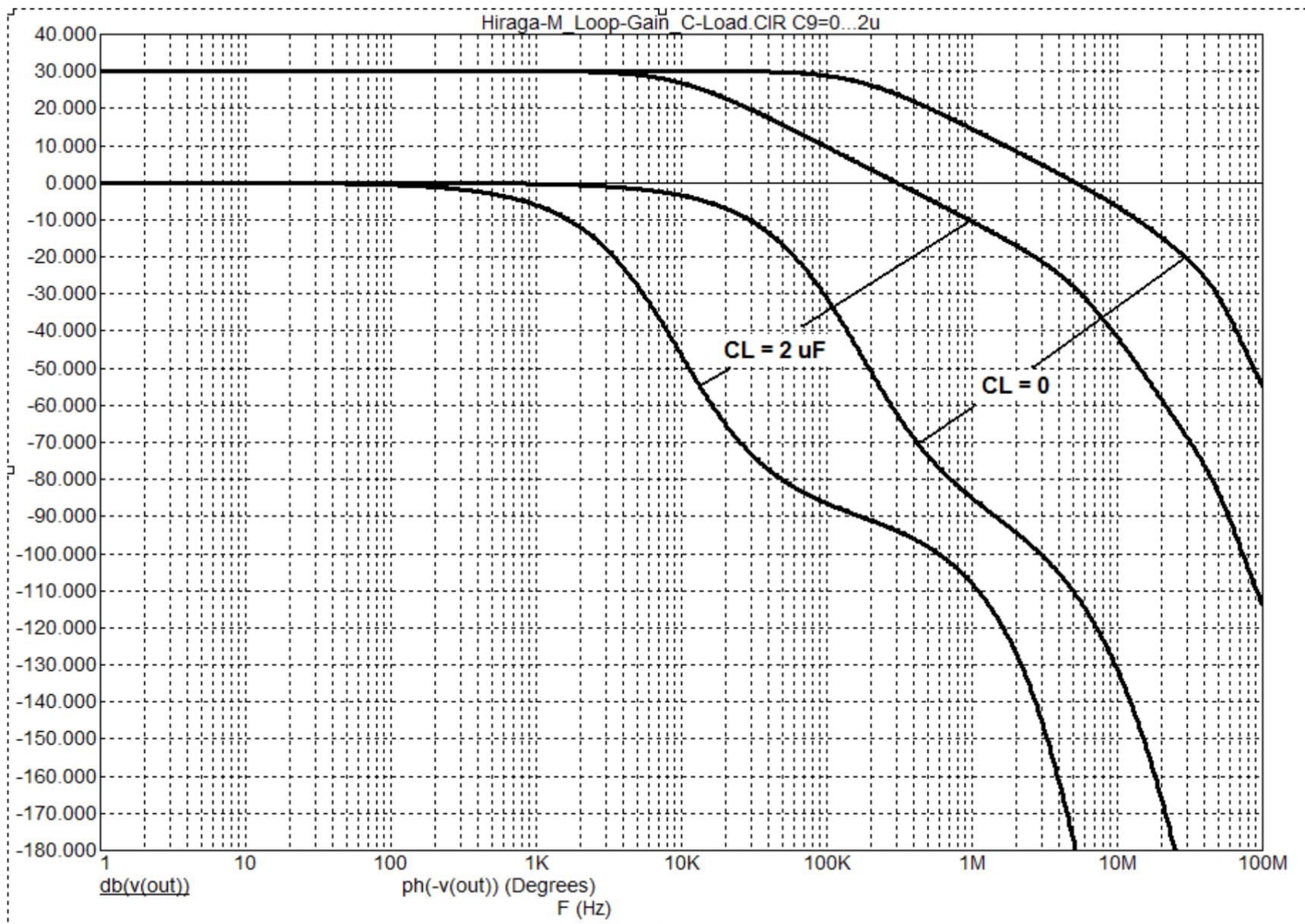


Рис. 4

Из рисунка 4 видно что с нагрузкой 2 мкФ запас по фазе возрастает до 86 градусов, а запас по амплитуде возрастает до 25 дБ. При этом частота первого полюса снижается до 10 кГц. Эффект объясняется просто. Емкостная нагрузка трансформируется в базы мощных выходных транзисторов которые являются нагрузкой масштабных отражателей тока и таким образом создают дополнительную пассивную коррекцию УНЧ повышающую его устойчивость. Большинство же существующих усилителей не способны работать на емкостную нагрузку. Для устранения этого недостатка на выходе усилителя используют индуктивность 5...15 мкГн шунтированную резистором 2...10 Ом. Но как показывает практика от такой индуктивности чаще больше вреда чем пользы, так как на полках импульсных сигналов неизбежно возникают колебательные процессы на реактивной нагрузке.

Проверим поведение данного усилителя на реактивной нагрузке при усилении импульсных сигналов, рис. 5. Представленные осциллограммы показывают поведение выходного напряжения на конденсаторе 47 нФ, 470 нФ и 2 мкФ при наличии на входе конденсатора С1=47 пФ и при регуляторе громкости сопротивлением 10 кОм в среднем положении ($R_i = 2,5$ кОм).

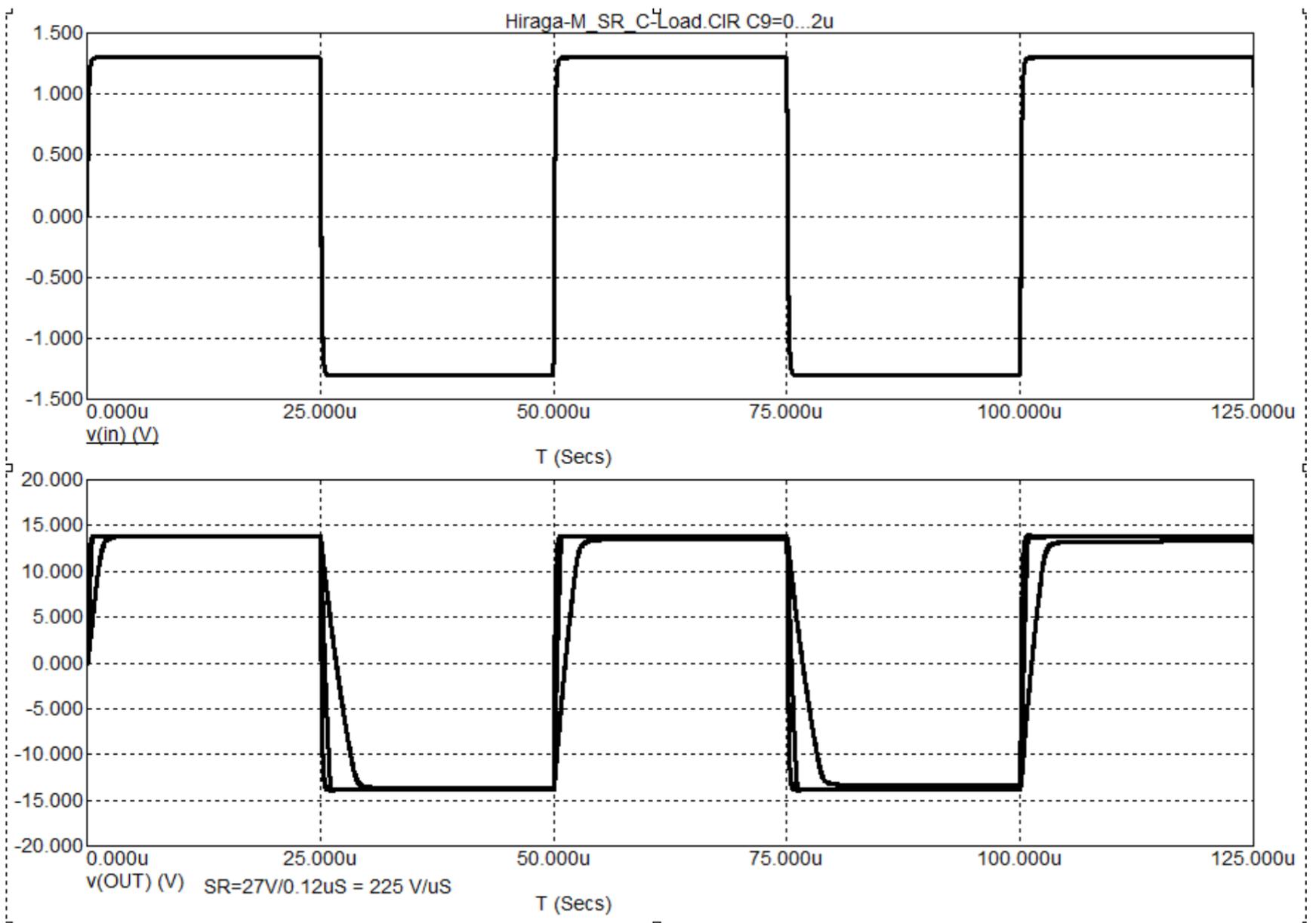


Рис. 5

Из рисунка 5 видно что реактивная нагрузка до 0,47 мкФ практически не оказывает влияния на форму выходного напряжения и только емкость 2 мкФ снижает скорость нарастания выходного напряжения не вызывая звона на полках сигнала. В аудиосалонах тестируют как правило с конденсатором емкостью 0,33 или 0,47 мкФ не более.

Оценим и спектр сигнала частотой 20 кГц, рис. 6

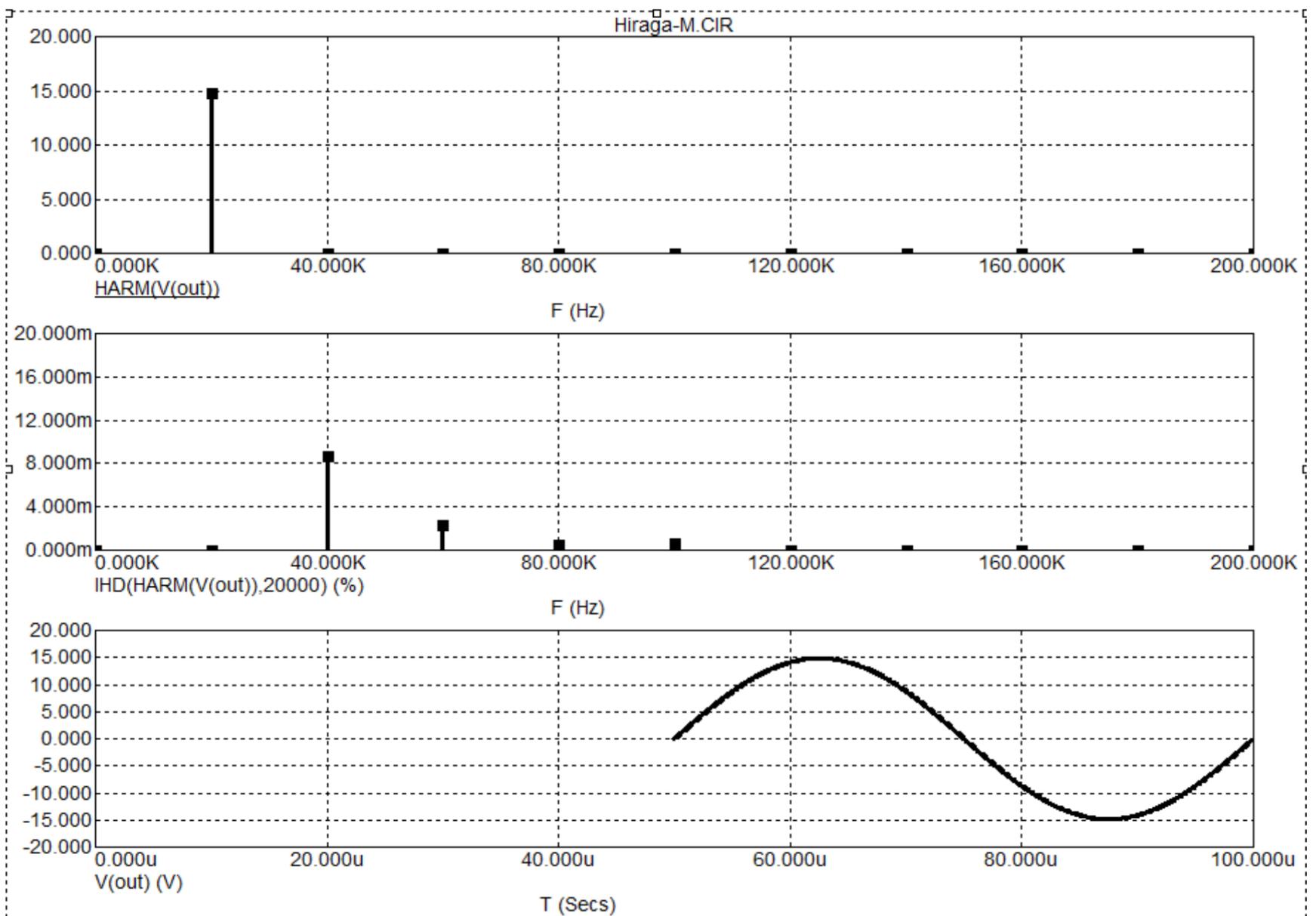


Рис. 6

Из рисунка 6 видно что в спектре сигнала частотой 20 кГц преобладает вторая гармоника уровнем всего 0,008%, спектр спадающий. Заодно оценим спектр при выходной мощности 1 Вт, рис. 7

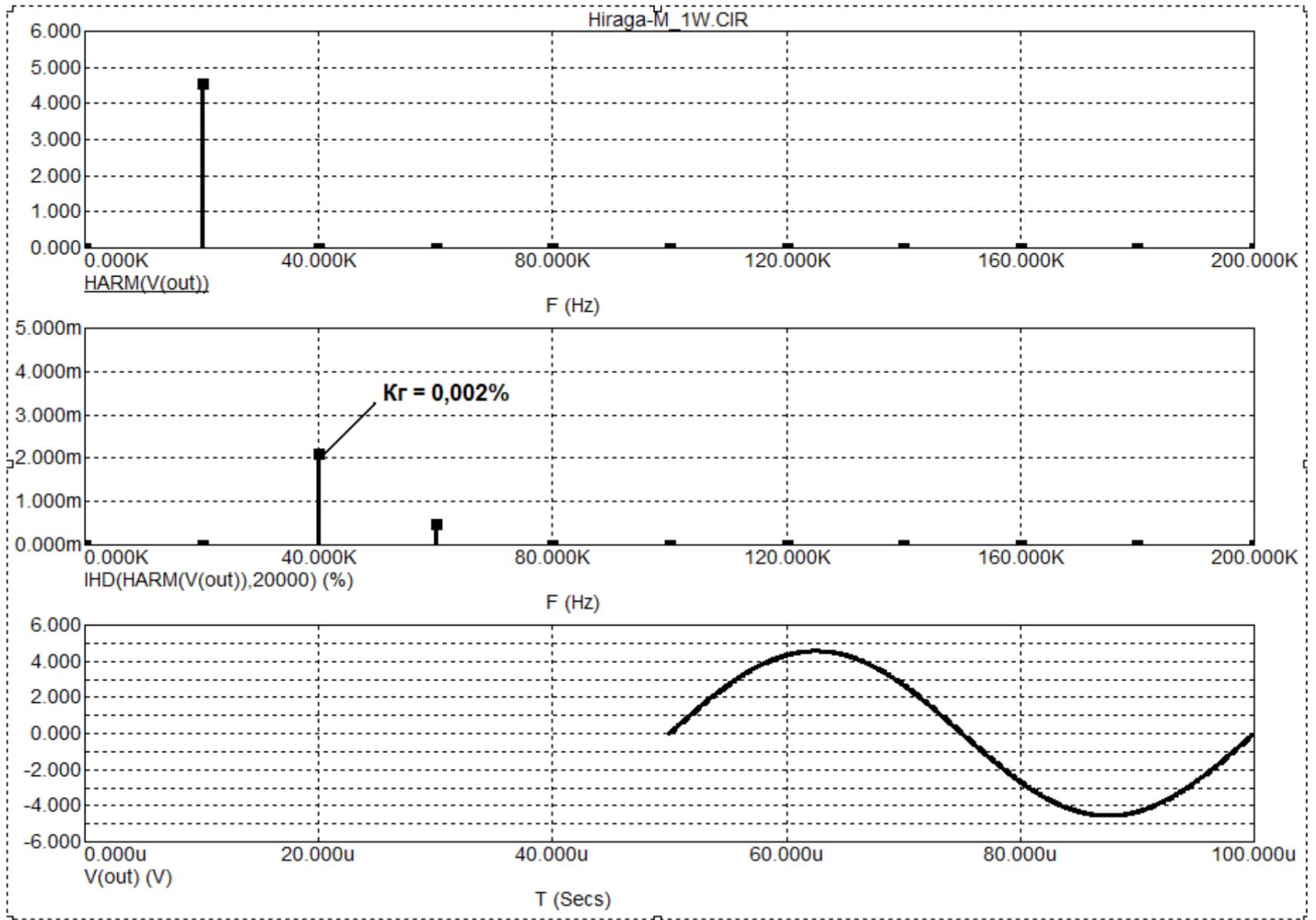


Рис. 7

Из рисунка 7 видно что в спектре в основном одна 2-я гармоника уровнем 0,002%. Для более полного представления о вносимых усилителем искажениях снимем зависимость K_r от частоты при выходном напряжении 15 В(пик), рис. 8

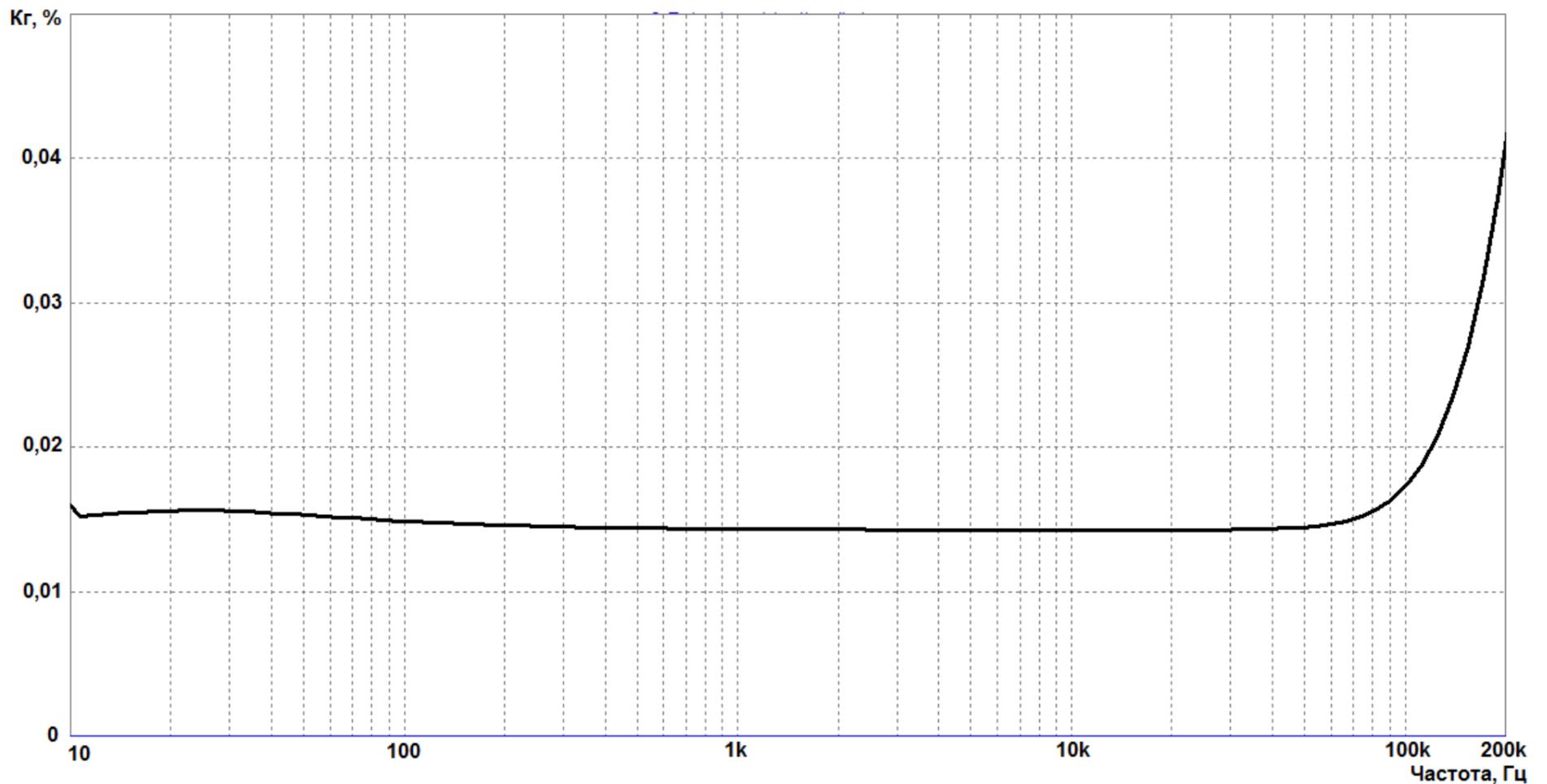


Рис. 8

Из рисунка 8 видно что уровень вносимых искажений при выходном напряжении 15 В(пик) во всем звуковом

диапазоне не превышает 0,015%, рост искажений начинается выше 100 кГц в то время как в большинстве усилителей рост K_g начинается с нескольких кГц, т. е. с частоты первого полюса с которой и начинается спад петлевого усиления.

Принято считать что ИМИ больше отражают качество усилителя чем график K_g . Снимем график ИМИ двухчастотным методом с помощью сигналов частотой 19 и 20 кГц, рис.9

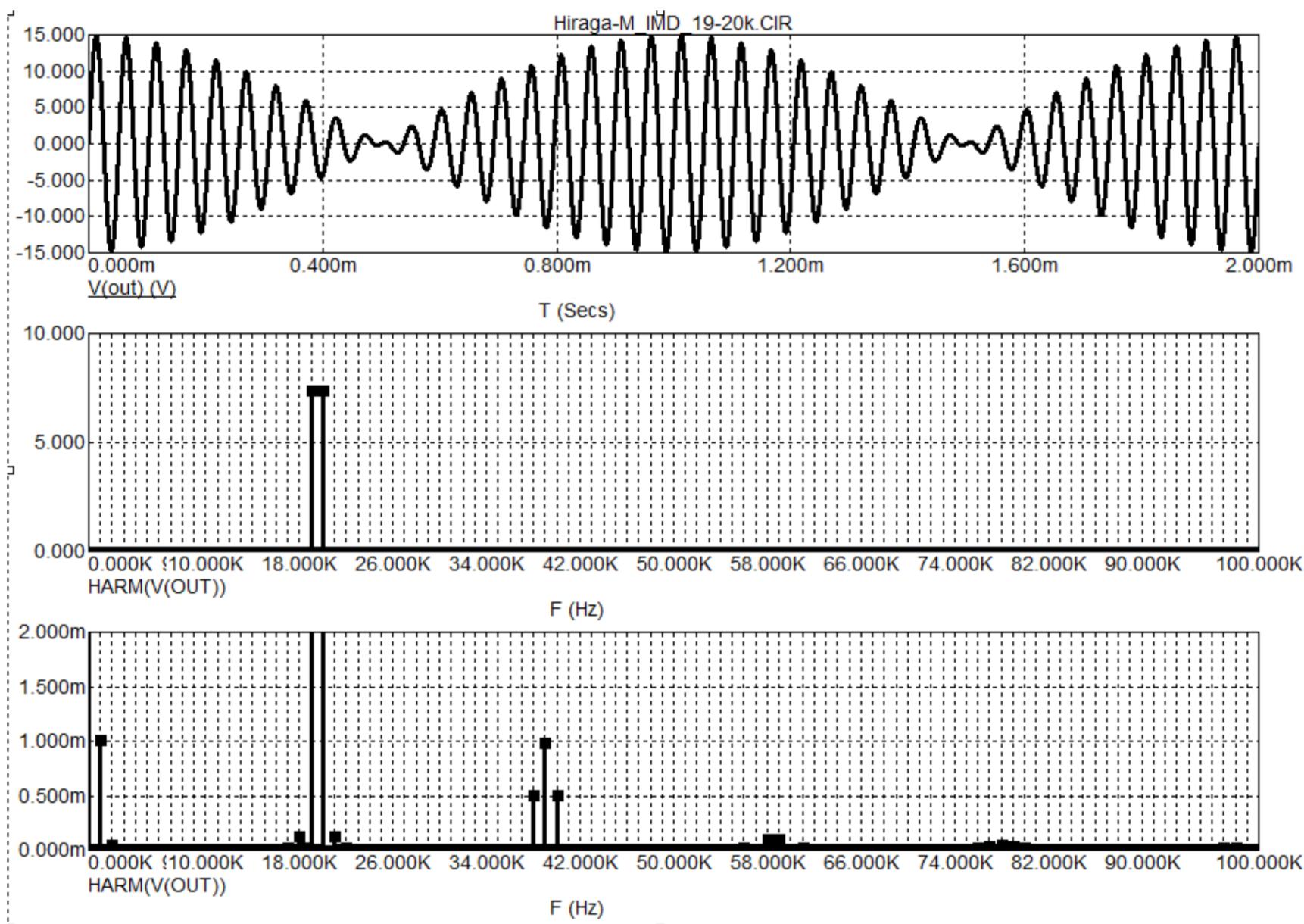


Рис. 9

ИМИ первого порядка снизился с 10 мВ до 1 мВ (в 10 раз), а шумовая подставка в звуковой полосе стала пренебрежимо малой благодаря снижению задержки прохождения сигнала.

Оригинальная схема автора радовала и радует слух многих меломанов имеющих усилитель в своем распоряжении. Хочется надеяться что доработанный вариант будет звучать еще лучше.

Опытный образец усилителя собран моим другом который смакетировал множество различных вариантов повторителей как одноконтурных так и двухконтурных для гибридных усилителей. Собрав этот усилитель он наконец успокоился, качество звучания превзошло все его ожидания и усилитель легко переиграл его предыдущие поделки и имеющиеся в наличии промышленные усилители.

Несколько слов о деталях и конструкции

В качестве маломощных транзисторов можно использовать любые современные транзисторы с частотой единичного усиления не ниже 50 МГц, в качестве транзисторов средней мощности необходимо использовать транзисторы с частотой единичного усиления не ниже 40 МГц и мощностью не ниже 8 Вт. В качестве выходных транзисторов можно использовать транзисторы с частотой единичного усиления 4 МГц и выше, в том числе и составные типа Дарлингтон. Из транзисторов отечественного производства можно использовать КТ864/КТ865. При использовании низкочастотных транзисторов типа MJ15024/MJ15025; MJL21194/MJL21193 время задержки прохождения сигнала возрастает примерно в 2 раза, но в любом случае оно остается более чем на порядок ниже чем в оригинальной схеме.

В качестве транзисторов Q11, Q12 использована пара (2SC2120/2SA950) с большим максимальным током коллектора (до 0,8 А) и малым напряжением насыщения. Возможная замена MPS6601/MPS6651; 2SC2235/2SA965; КТС1027/КТА1023; 2SD667/2SB647. С целью улучшения температурной стабильности эти транзисторы необходимо разместить попарно рядом лицом к лицу и при монтаже смазать термопастой и обжать термоусадочной трубкой.

С целью исключения постоянной составляющей на вход усилителя от источника сигнала целесообразно предусмотреть на входе выкорачиваемый конденсатор емкостью 100... 220 мкФ. Его можно составить встречно-последовательным включением электролитических конденсаторов подшунтированных пленочным конденсатором емкостью несколько мкФ.

Возможный вариант печатной платы разработанной для специфического корпуса с теплоотводами от тиристоров представлен на рис. 10. Ограниченный размер по высоте, а также отверстия в теплоотводах наложили отпечаток на специфику трассировки. По этой печатной плате собран и отслушан усилитель и получил восторженные отзывы о качестве звука. И это не удивительно, так по сравнению с оригиналом существенно улучшены практически все параметры.

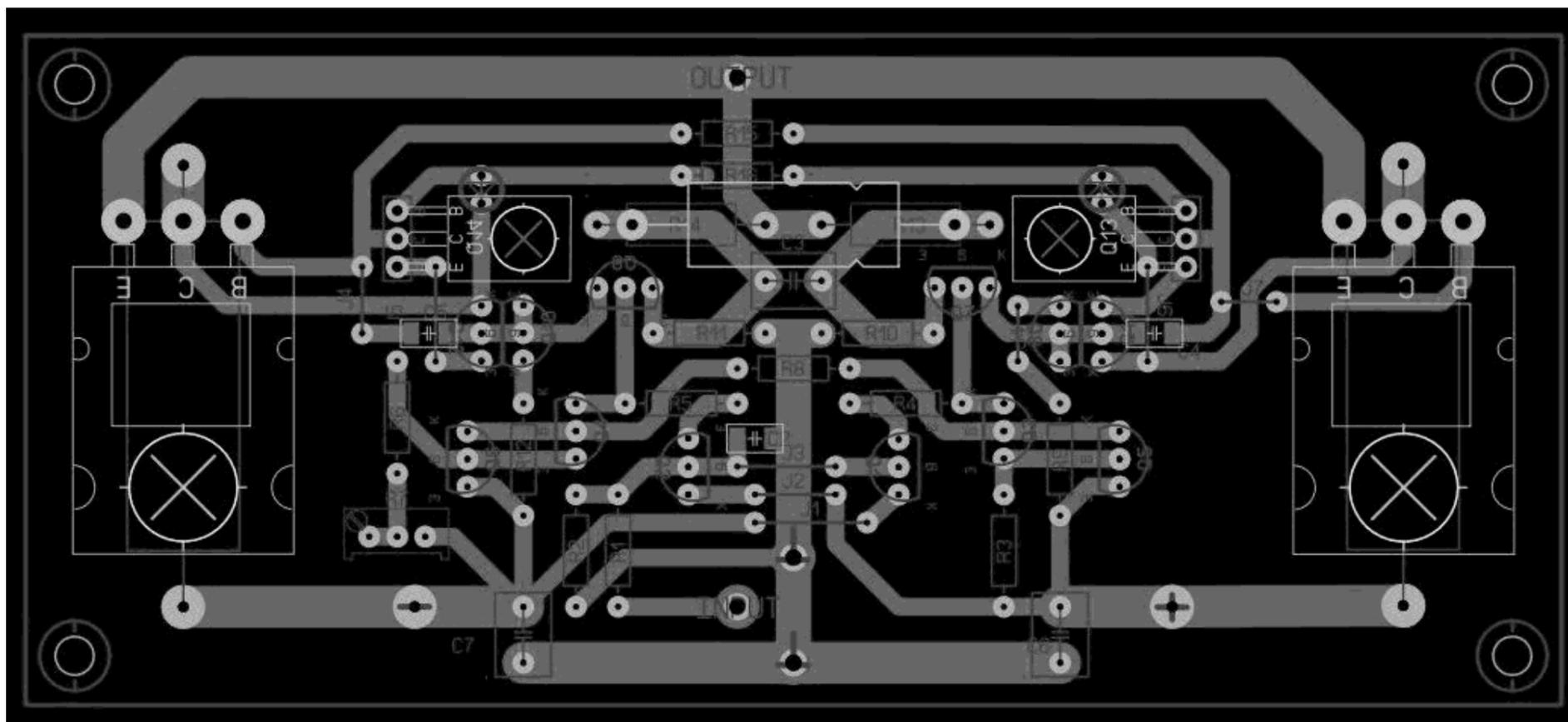


Рис. 10

Выходные и предвыходные транзисторы крепятся на теплоотводе через отверстия в плате. В качестве предвыходных использована пара KSC2690/KSA1220 в пластмассовом корпусе, так что положить их можно в любую сторону что и сделано для симметрии. Подключение к выпрямителю БП выполнено короткими свитыми проводами.

С уважением,
Александр Петров

10 октября 2019 года