



Звукотехника

Александр Соколов 1t308a@gmail.com

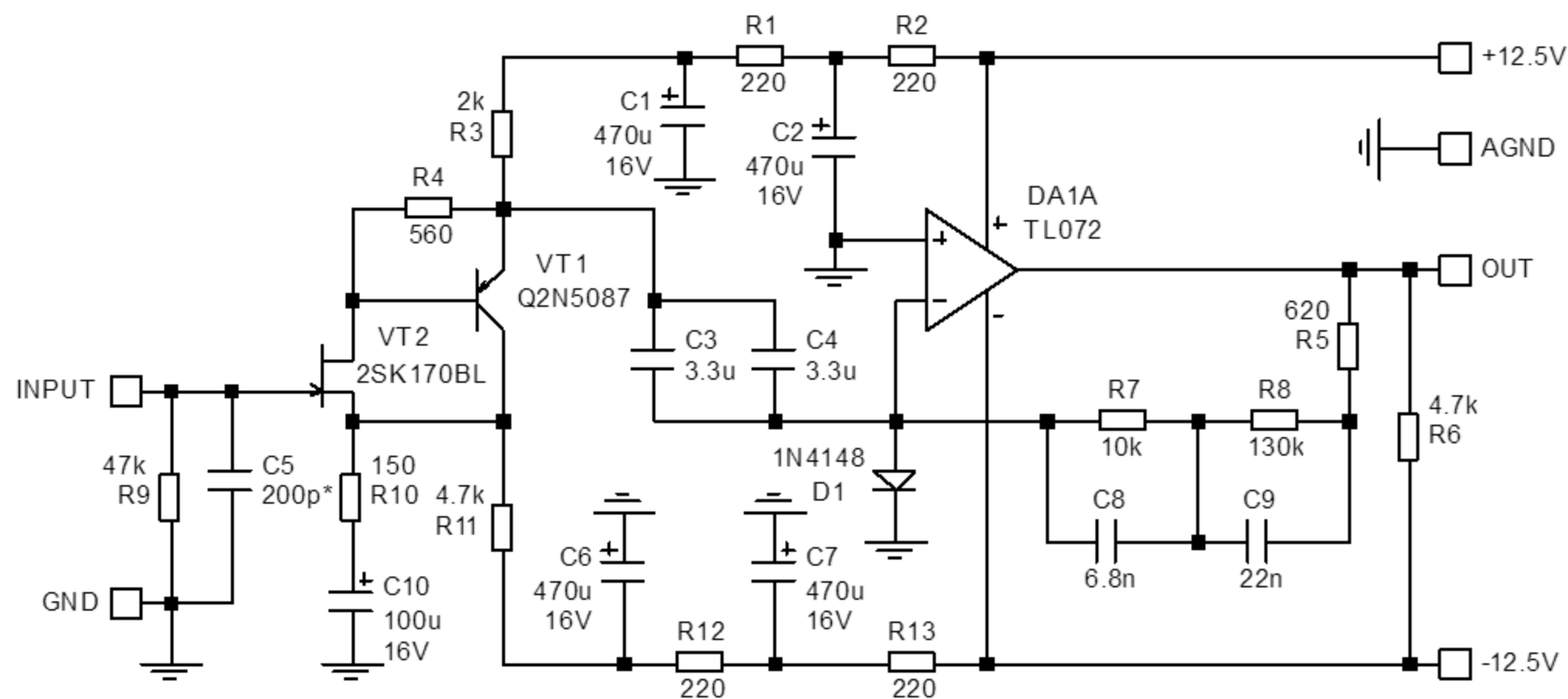
Любителям и профессионалам



Ну кому сейчас нужен проигрыватель виниловых грампластинок? Разве что, большим любителям ретро-техники, вымирающим, словно мамонты. Но, тем не менее, я иногда получаю послания от моих подписчиков с пожеланием увидеть мой видеовыпуск с описанием Hi-End фонокорректора для магнитного звукоснимателя. Идя навстречу, здесь я публикую мою разработку сорокалетней давности, переведенную на более-менее современные компоненты. В плане схемотехники и качественных показателей ничего лучше с тех пор не придумано, по крайней мере, я не встречал. Полагаю, что это просто невозможно. Этот фонокорректор успешно работал в ЭПУ «Вега-106» с польской панелью Unitra с 1979 до 1995 года, когда я перекочевал с США. В то время я рисовал платы при помощи нитрокраски и медицинской иглы, поэтому никаких чертежей не сохранилось.

Этот выпуск в pdf формате доступен для скачивания по ссылке в заголовке.

Входной каскад выполнен на составном транзисторе, причем первый – полевой, а второй – биполярный, оба малошумящие. Применение составного транзистора взамен одиночного полевого позволило не только исключить подбор полевых транзисторов по крутизне, но даже очень значительно улучшить линейность при полном сохранении шумовых характеристик. Каскад охвачен глубокой локальной ООС по току через резистор R10 и блокирующий конденсатор C10. Разделительный конденсатор на входе отсутствует, поскольку ток затвора полевого транзистора реально отсутствует. Цепочка R9, C5 является нагрузкой для головки. Значения этих элементов средние для большинства головок, но иногда они специфичны. Далее следует операционный усилитель в инвертирующем включении, охваченный частотнозависимой параллельной ООС, задающей необходимую частотную характеристику, точно соответствующую кривой RIAA. Элементы R3, C3, C4 и R10, C10 также образуют рокот-фильтр с частотой среза 30Гц. Общая ООС с выхода на вход отсутствует, что резко снижает склонность к самовозбуждению и улучшает динамические характеристики. Входное сопротивление каскада на ОУ близко к нулю, что исключает эффект Миллера в составном транзисторе. Общий коэффициент усиления на 1кГц примерно 40дБ, или 100 раз. Эту величину легко изменить в любую сторону, меняя величину R10. Чем меньше R10, тем больше усиление. Диод D1 предотвращает перегрузку ОУ по входу при включении питания, когда все оксидные конденсаторы полностью разряжены. Резистор R6 переводит двухтактный выходной каскад ОУ в одноктактный режим, при котором повышается линейность.

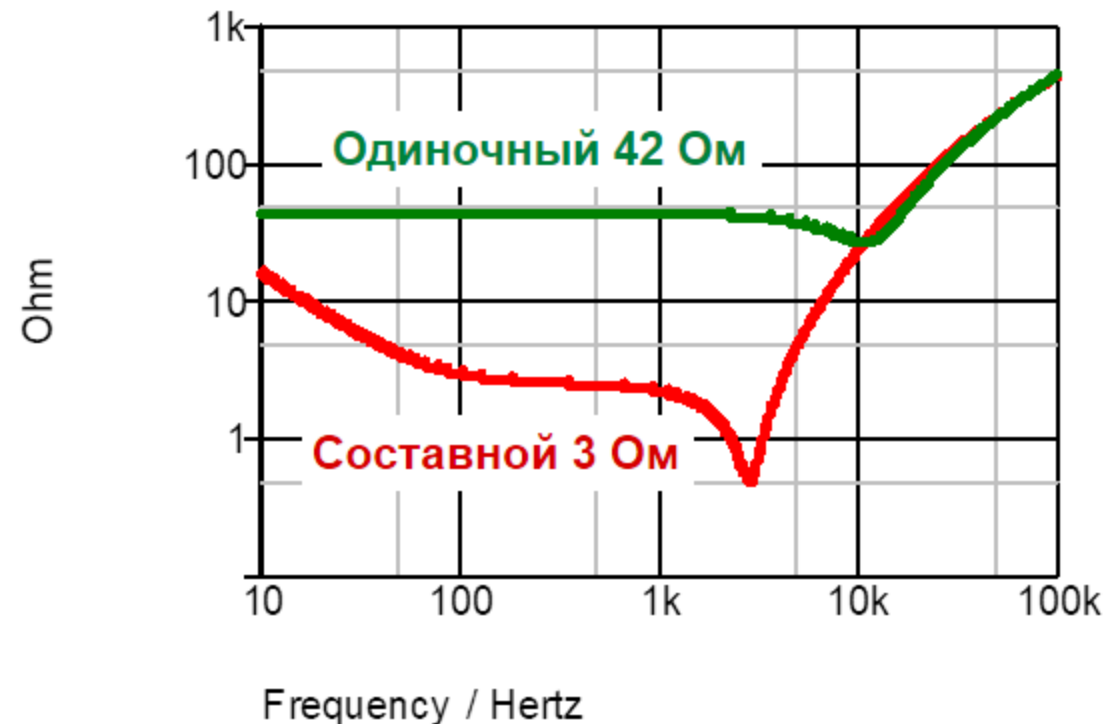
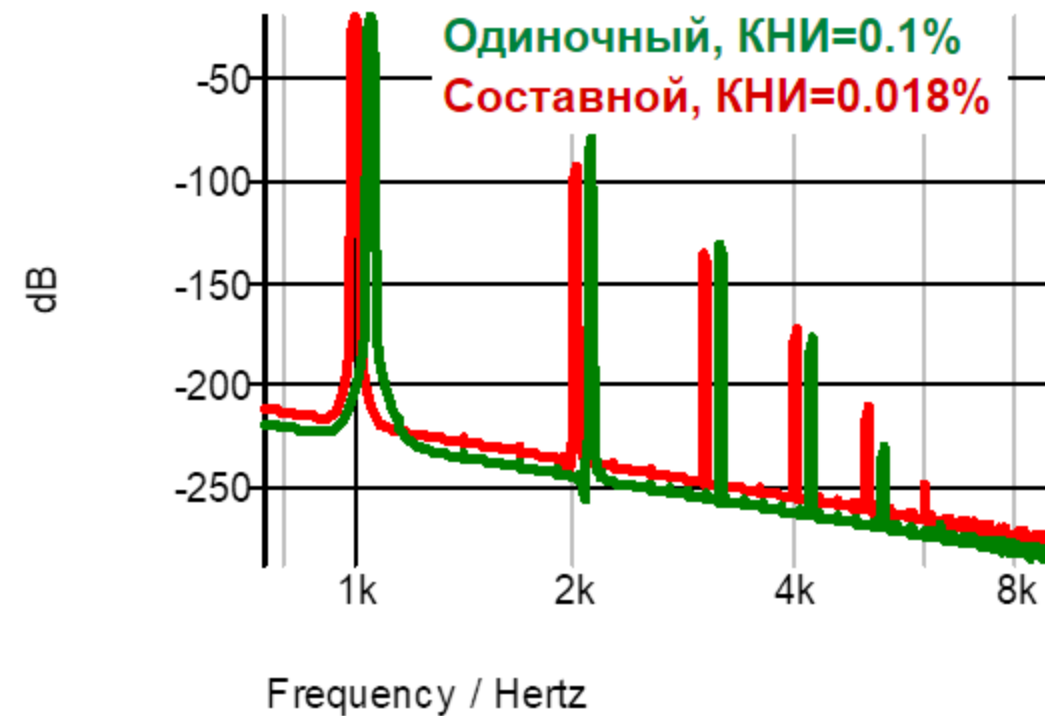
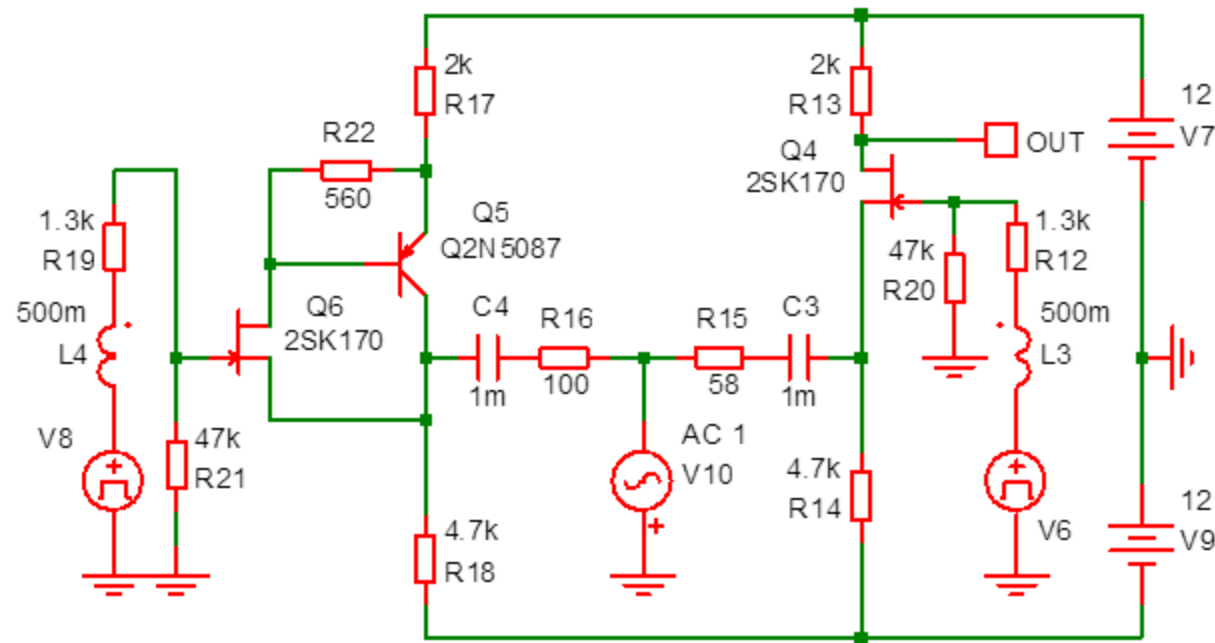


Транзисторы для левого и правого каналов точно подбирать по парам не требуется, хотя экстремального разброса все же лучше избегать. Конденсаторы C3 и C4 обязательно пленочные WIMA, можно применить один 6.8мкФ, но его труднее найти в маленьком корпусе. Все оксидные конденсаторы – полимерные, не жидкостные. C5, C8 и C9 – керамические, обязательно C0G или NP0 с допуском 5%. Резисторы металлопленочные с допуском не хуже 5%. ОУ желательно с полевыми транзисторами на входе, годится КР544УД1А.

Этот фонокорректор, как и большинство других, чувствителен к пульсациям по питанию и внешним наводкам. Требуется экранировка как всего усилителя, так и входных проводов. Большим достоинством схемы является отсутствие токов питания в общей земляной шине. Это резко снижает фон 100Гц на выходе. Неизбежен вопрос, а зачем нужен составной транзистор, не достаточно ли одного ОУ? У меня не получилось, слишком много шума от ОУ, да еще и норовит самовозбудиться при подключении головки на вход из-за большой индуктивности.

Анализ входного каскада фонов корректора. Составной или одиночный полевой?

На модели внизу проведен сравнительный анализ входного каскада на составном транзисторе, состоящим из малошумящих полевого 2SK170BL и биполярного 2N5087, и на аналогичном одиночном полевом. На входах – эквивалент магнитной головки с типовой индуктивностью 500мГн и сопротивлением обмотки 1.3к. Внизу слева зависимость входного сопротивления со стороны истока. Чем меньше это сопротивление – тем глубже локальная ООС, и тем меньше как вносимые искажения, так и чувствительность к разбросу параметров полевого транзистора благодаря стабилизации тока стока. Справа сверху – спектры выходного напряжения на 1кГц при размахе входного напряжении 10мВ. Справа внизу – шум на выходе при равном коэффициенте усиления 20.

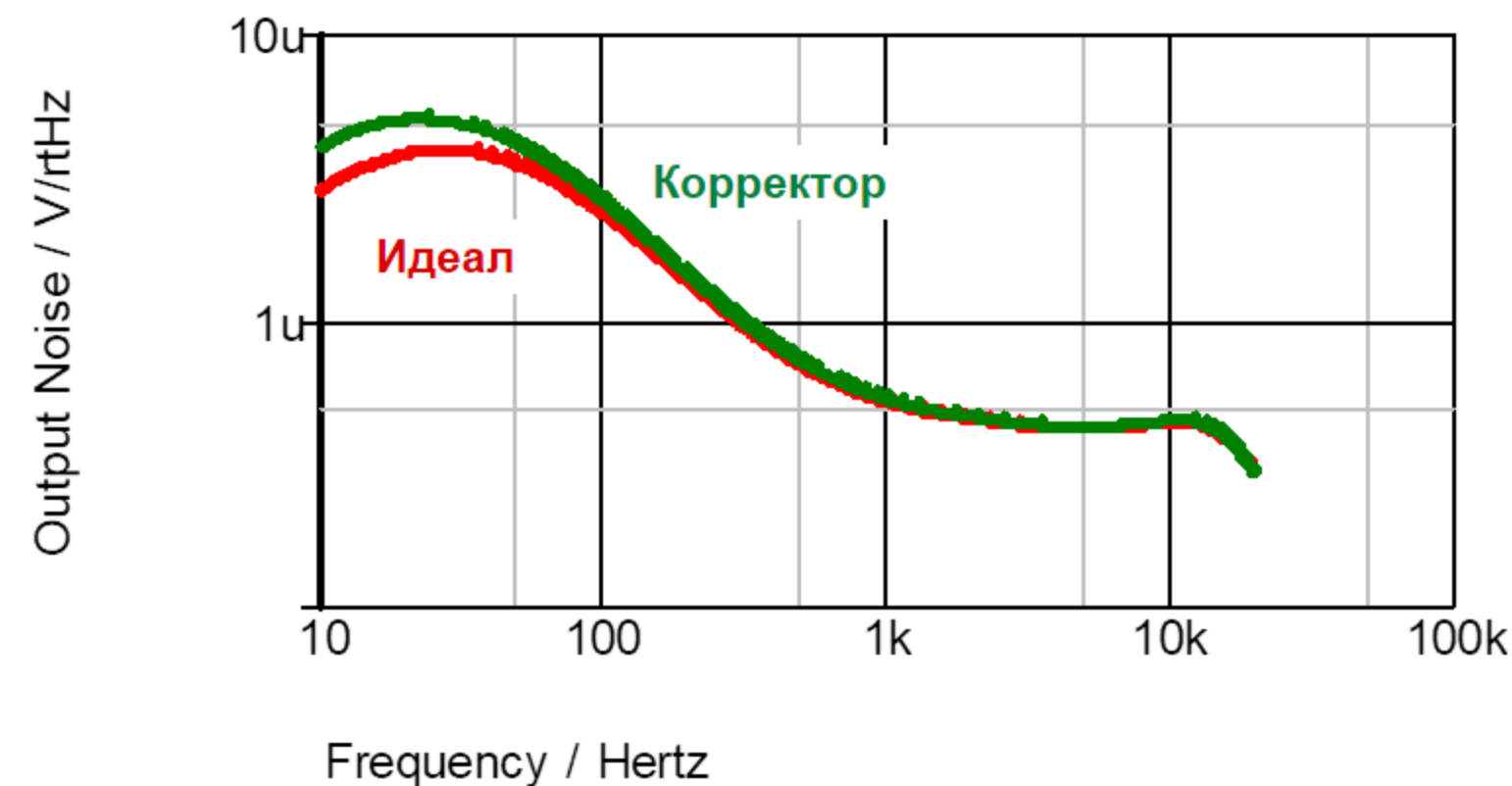
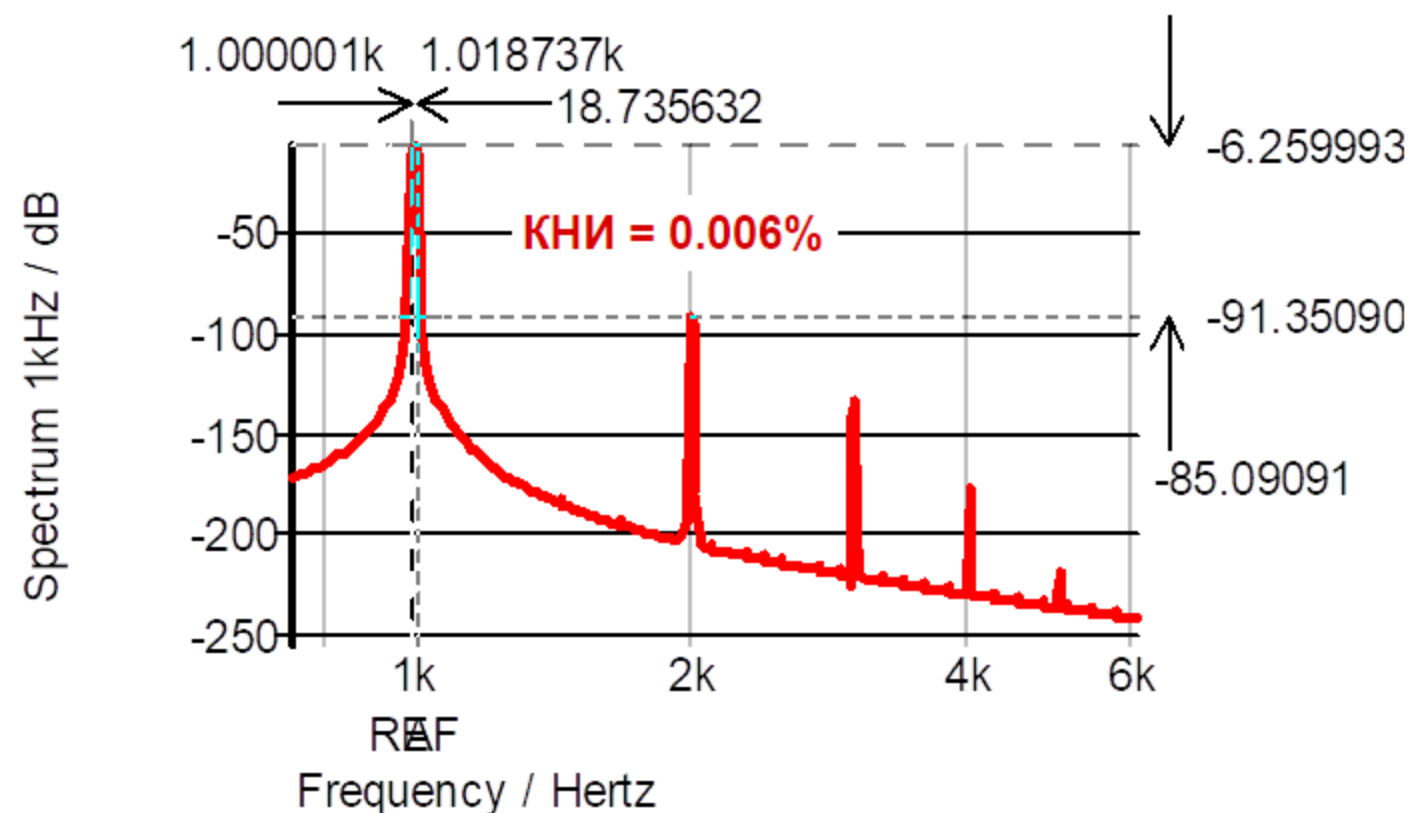
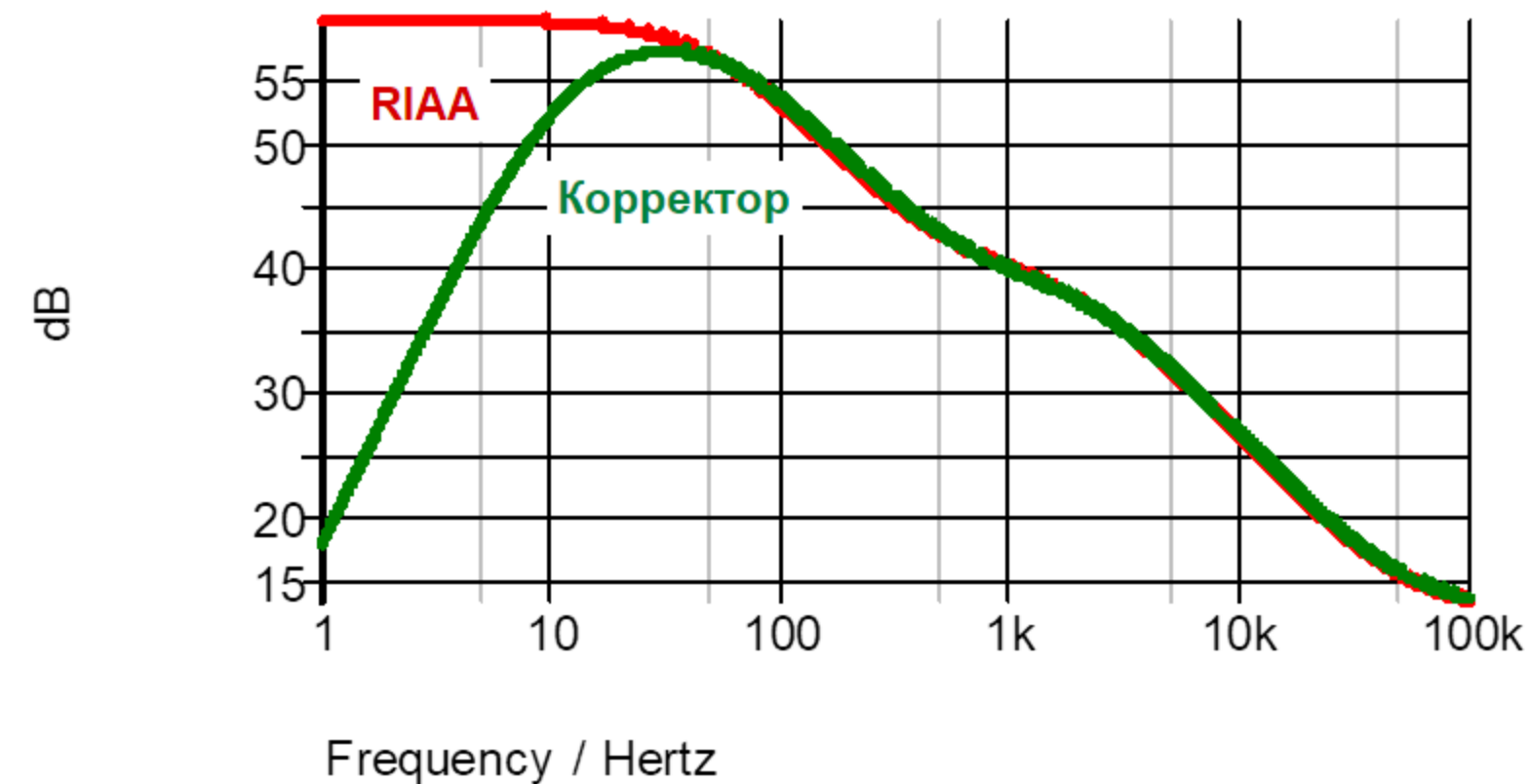


Во всех случаях составной транзистор превосходит одиночный полевой. Это объясняется намного более высокой эквивалентной крутизной переходной характеристики при одинаковом рабочем токе, в данном случае, крутизна составного транзистора на 1кГц около 330мА/В, а полевого только 26мА/В. По этой причине нелинейные искажения, вносимые составным транзистором, в 6 раз ниже, чем одиночным полевым. Шумовые характеристики обеих схем эквивалентны. Однако, следует отметить, что искажения, вносимые самой головкой, даже самой крутой, намного выше, в частности, знаменитая головка Shure V-15-IV с эллиптической иглой вносит 1.2% искажений на 1кГц и 2.5% на 8кГц, в основном, второй гармоники. По этой причине, основным преимуществом составного транзистора является малая чувствительность к разбросу параметров полевого транзистора 2SK170BL, у которого по паспорту ток стока колеблется от 6мА до 12мА при нулевом напряжении на затворе. Несмотря на это, подбор полевииков не требуется. Биполярные тоже подбирать не обязательно. Но вот выровнять усиление каналов подбором R10 необходимо.

Справа сверху – частотная характеристика. Она точно соответствует кривой RIAA от 30Гц и выше, но ниже 30Гц начинается быстрый спад из-за наличия рокот-фильтра, который блокирует инфранизкие частоты, вызванные различными механическими вибрациями и колебаниями подвеса. Кроме того, устраняется акустическая обратная связь колонок и проигрывателя на большой громкости, которая вызывает громкий низкий гул и дрожание пола.

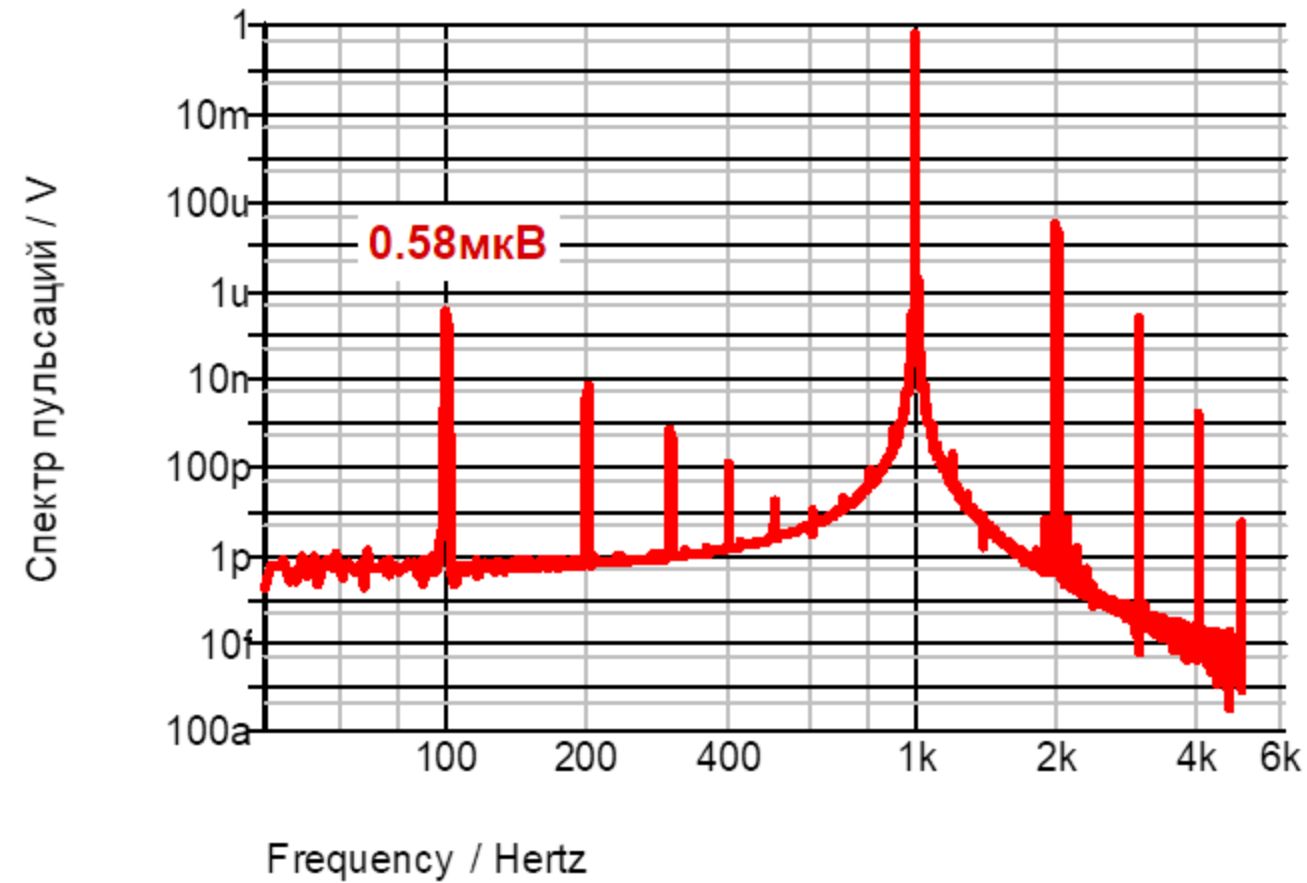
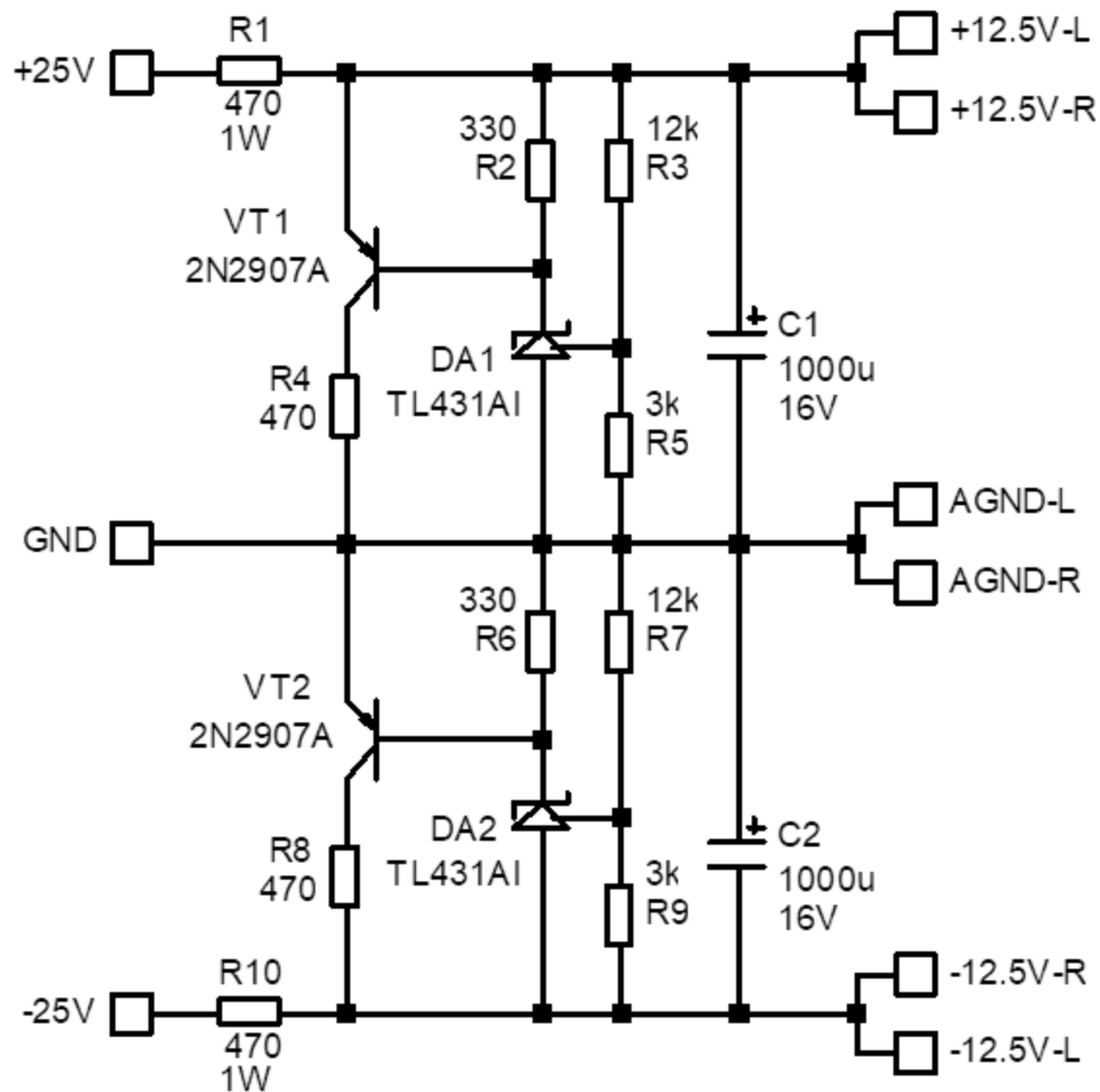
Внизу слева – спектр выходного сигнала при 5мВ 1кГц на входе. КНИ = 0.006%, причем все искажения во второй гармонике. Если учесть, что самая лучшая головка звукоснимателя вносит не менее 1%, то усилитель можно считать идеальным с отличной динамикой из-за отсутствия общей ООС.

Внизу справа – шумовые характеристики фонокорректора. Зеленой линией показан расчетный шум реального фонокорректора как функция частоты при подключенной головке, а красной – шум симулированного идеального фонокорректора с теми же параметрами. Разницы почти нет, так что описываемая схема не вносит сколько-нибудь заметного шума. Весь шум на выходе – это шум головки, составного транзистора и резистора R10, остальные элементы, включая ОУ, находятся позади входного каскада и заметного шума не вносят. По всем параметрам описываемая схема близка к идеалу, поэтому какое-либо дальнейшее улучшение вряд ли вообще возможно.



Источник питания фonoкорректора с малыми пульсациями.

Оба канала фonoкорректора вместе потребляют ток 15мА от $\pm 12.5\text{В}$. Требуются очень малые пульсации, так, чтобы фон переменного тока на выходе был ниже собственного шума. При этом усиление на 100Гц очень велико, почти 60дБ. Входной каскад наиболее чувствителен к пульсациям, поэтому он дополнительно защищен RC фильтрами R1, R2, C1, C2 и R12, R13, C6, C7. При этом допустимый размах пульсаций источников $\pm 12.5\text{В}$ 1мВ, что требует источник питания с малыми пульсациями и шумом. Схема подходящего варианта внизу слева. Это симметричный параллельный стабилизатор с очень малыми пульсациями и шумом на выходе. Рабочие графики при $\pm 25\text{В}$ на входе, каждый с размахом пульсаций 100Гц 3В справа. При другом входном напряжении заново подобрать R1 и R10 так, чтобы через них протекал ток 20мА.



Спектр выхода корректора при 5мВ 1кГц на входе при питании от описываемого стабилизатора. На входе стабилизатора $\pm 25\text{В}$ от выпрямителя с размахом пульсаций 3В 100Гц для каждого напряжения, всего 6В. Это очень много, обычно пульсаций меньше. При этом на выходе корректора напряжение пульсаций 100Гц меньше одного микровольта. Это очень хорошо, такой фон не только услышать, но даже измерить невозможно



А здесь – переходной процесс после включения питания $\pm 25\text{В}$. Напряжение на выходе корректора скачет вверх и вниз, но через 2 сек. устанавливается в ноль. Во избежание хлопка в колонках при включении, необходима система защиты АС с задержкой 3 сек., описанная в предыдущих выпусках на моем канале. Вообще говоря, защита АС необходима всегда.



Заключение.

Понимаю, что тема усилителей-корректоров давно не актуальна. Однако, еще встречаются энтузиасты винила. Кроме того, описанная архитектура малошумящего усилителя может применяться и для других целей.

На этом все. Благодарю за внимание.

До свидания и до следующих встреч.

Вопросы и пожелания сюда: 1t308a@gmail.com