



Звукотехника

Александр Соколов 1t308a@gmail.com

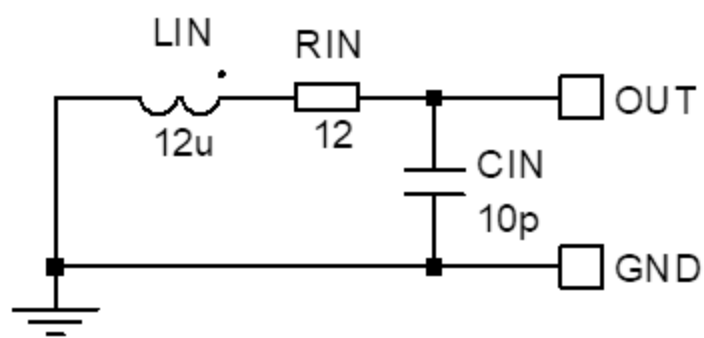
Любителям и профессионалам



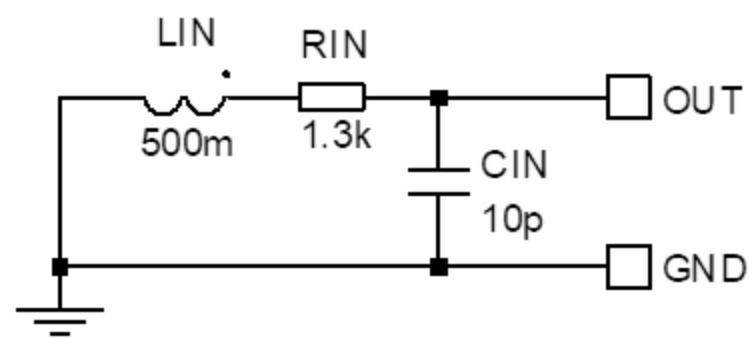
В этом выпуске я продолжаю тему фонокорректоров для винила. Здесь рассмотрены специфические корректоры для головок с подвижной катушкой (МС). Эти очень дорогие головки при своих фантастических параметрах имеют крайне низкое внутреннее сопротивление и малое напряжение сигнала на выходе. По этой причине фонокорректоры, описанные в моих предыдущих выпусках, не пригодны. В этом выпуске рассмотрены технические решения для реализации всех преимуществ дорогостоящих МС головок. Эти решения, конечно, могут быть использованы для усиления сигналов и от других низкоомных источников, например, динамических микрофонов. Этот выпуск в pdf формате доступен для скачивания по ссылке в заголовке.



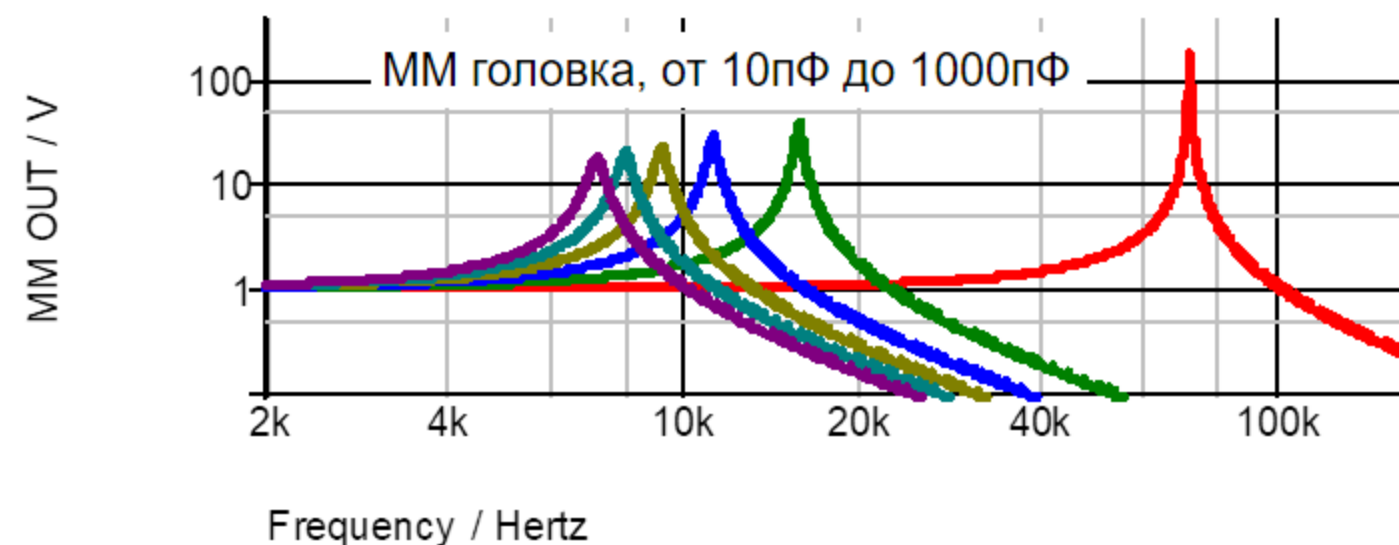
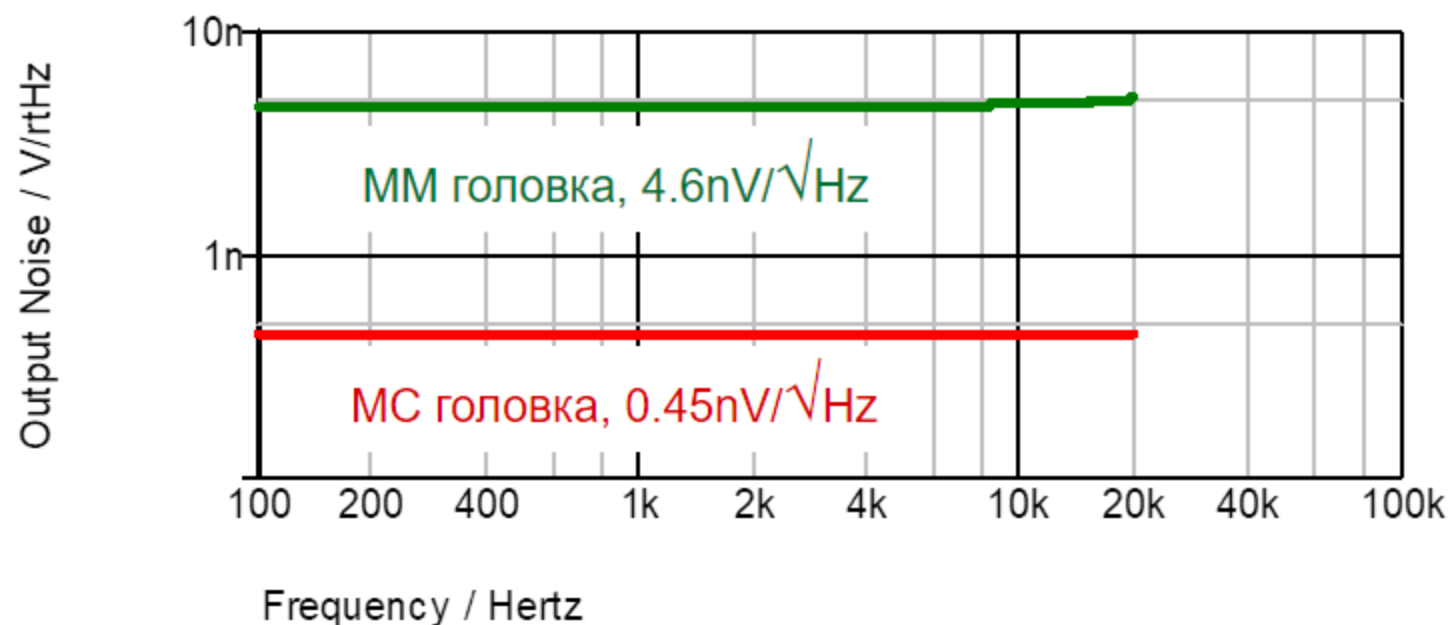
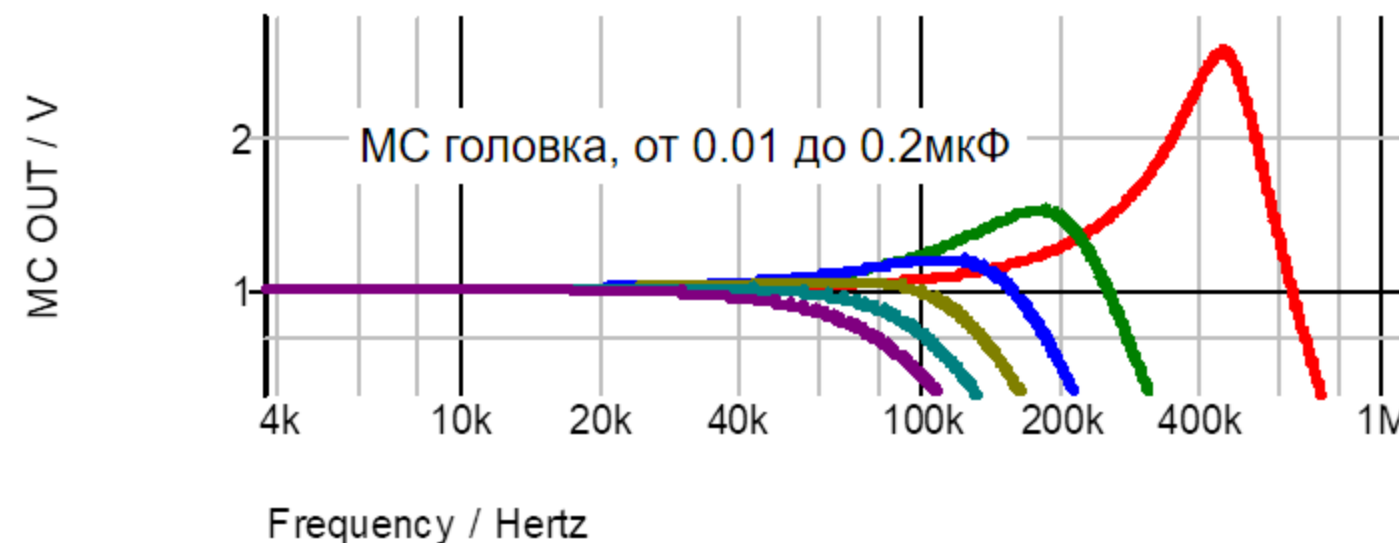
Hi-End cartridge AT09 имеет собственную индуктивность 12мкГ и внутреннее сопротивление 12Ом. Для сравнения, более распространенные головки ММ-типа имеют индуктивность порядка 500мГ, что в 40 тысяч раз больше! И внутреннее сопротивление в 100 раз больше. Поэтому фоновкорректоры для этих типов головок принципиально различаются как по входному сопротивлению, так и по коэффициенту усиления. Вначале я сравню соотношение сигнал-шум для обоих типов головок пока без учета кабеля и шума фоновкорректора. Внизу эквивалентные схемы головок и симулированные шумовые характеристики. ММ головка производит в 10 раз больше шума, чем МС головка, а выходное напряжение ММ головки только в 5 раз выше. Поэтому соотношение сигнал/шум у МС головки вдвое (на 6дБ) лучше, чем у ММ головки. Но вот влияние шума фоновкорректора для ММ головки можно сделать гораздо ниже, чем для МС головки, поэтому шумовые характеристики комбинаций головка+фоновкорректор примерно одинаковы для обоих типов головок. Теперь о нагрузке. МС головка может работать на чисто емкостную нагрузку, без шунтирующего резистора, оптимальная емкость 0.15мкФ для плоской АЧХ до 40кГц. А вот ММ головка не обеспечивает плоской АЧХ без нагрузочного резистора, как показано на графиках. Стандартное сопротивление нагрузки 47к, которое вносит дополнительный шум. Некоторые советуют увеличить нагрузочный резистор до 150к, уменьшив нагрузочную емкость до 10пФ, при этом получится плоская АЧХ до 20кГц, но такой режим не рекомендован производителями головок. Также некоторые утверждают, что это все из-за емкости кабеля, а вот если фоновкорректор расположен рядом с тонармом, то такое изменение нагрузки очень полезно. Я не проверял на практике, поэтому ничего конкретного сказать по этому поводу не могу.



МС головка, 5мВ на выходе

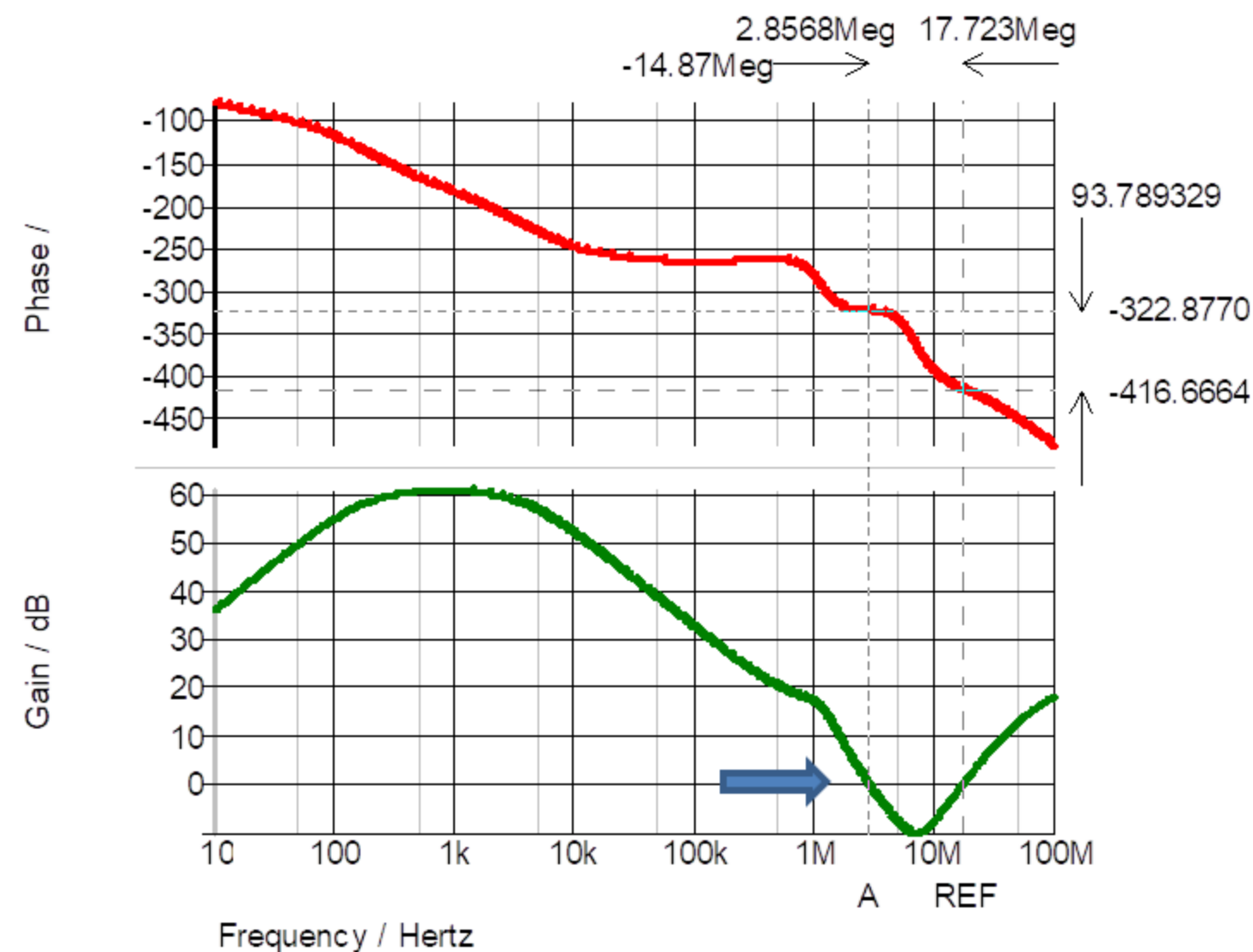
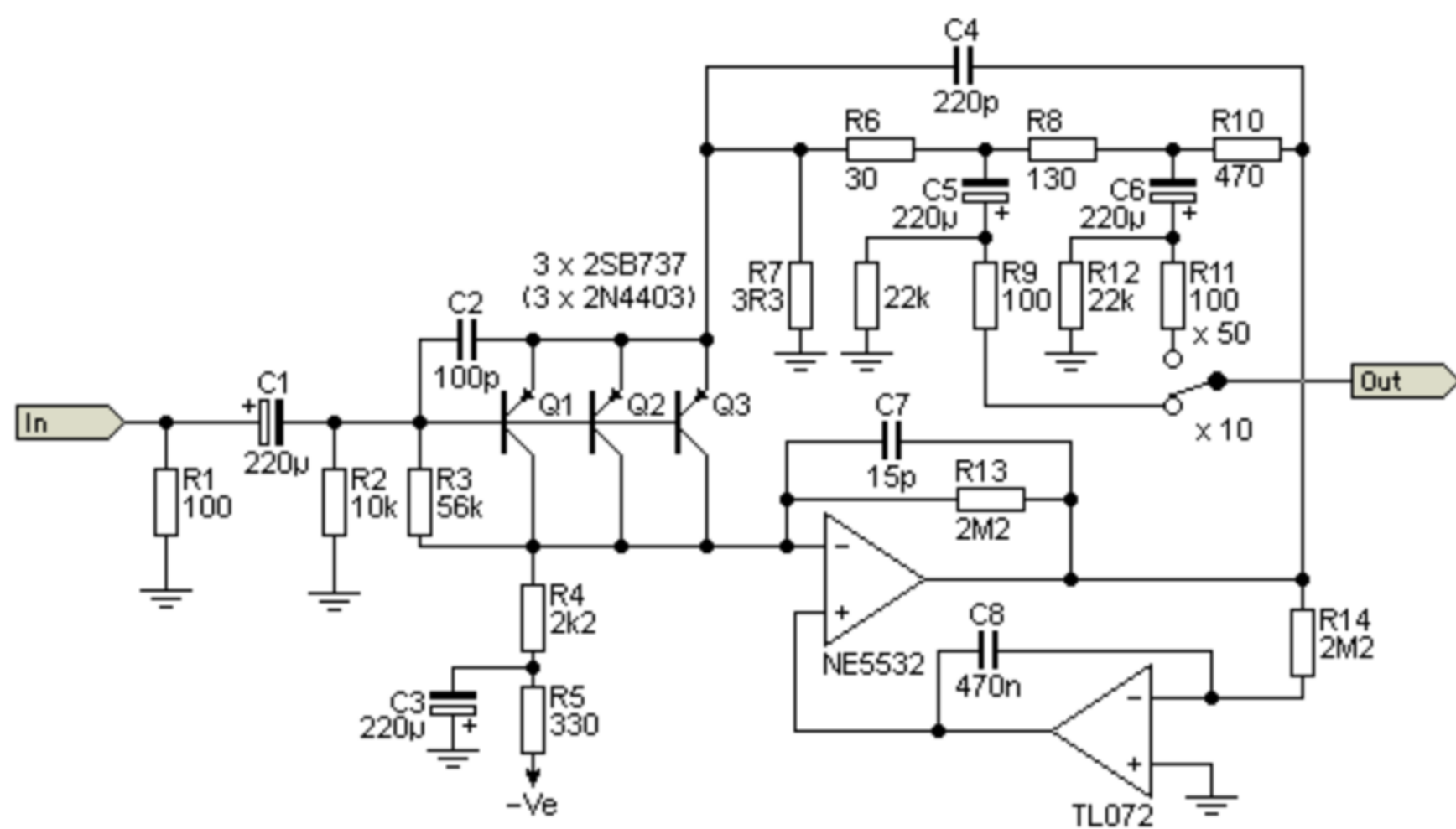


ММ головка, 1мВ на выходе



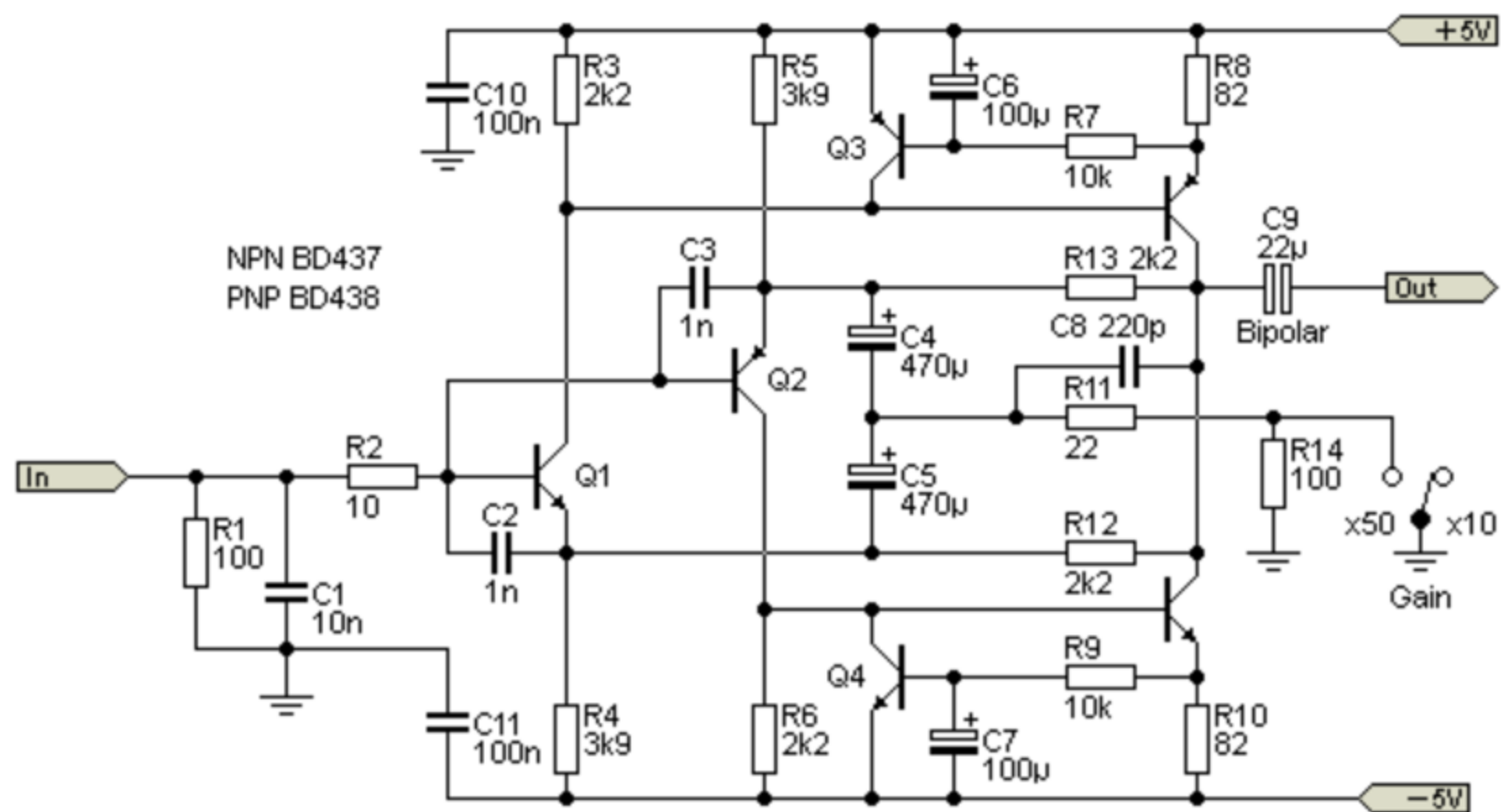


Это не фоновкорректор, а линейный малошумящий предусилитель с переключаемым коэффициентом усиления 10 или 50. Первый каскад выполнен на трех параллельно включенных р-п-р транзисторах, а второй – на ОУ NE5532. ОУ TL072 только поддерживает ноль на выходе. Для предельно возможного снижения шума первого каскада, резисторы делителя цепи общей ООС R10, R8, R6, R7 выбраны очень низкоомными. Несмотря на очень низкий уровень шума, эта схема не получила широкого распространения из-за существенных недостатков. Во-первых, при параллельном соединении дискретных транзисторов, их токи коллекторов распределяются весьма неравномерно, обычно почти весь ток протекает через один из транзисторов, поэтому выигрыш по шумам получается ниже ожидаемого. Далее, режим по постоянному току не стабилизирован в достаточной степени, и суммарный ток коллекторов, аж 3.7мА, зависит и от коэффициентов усиления транзисторов и от температуры. Оксидный конденсатор на входе C1 вносит дополнительный шум. Но хуже всего – это высокая склонность к самовозбуждению из-за невозможности достаточной компенсации фазового набега в петле ООС и емкостной нагрузки ОУ через C4, поскольку R7 всего 3.3Ом, а это реально кз. Переключение усиления тоже не слишком удачно – исходная величина усиления от входа до выхода ОУ около 170, но затем выходной сигнал делится резистивными делителями в 3.5 или в 17 раз. Это, конечно, не улучшает перегрузочную способность, но она все равно достаточна. АЧХ плоская до 20кГц, искажения очень малы. Для этой схемы измеренное на модели приведенное ко входу напряжение шума 0.62 нВ/√Гц, что соответствует соотношению сигнал/шум на выходе последующего за предусилителем фоновкорректора 87дБ, это очень и очень неплохо. А вот с устойчивостью – беда. На графике диаграмма Бode. АЧХ пересекает линию 0дБ дважды, что указывает на условную устойчивость, а не абсолютную. Это означает высокую склонность к самовозбуждению. Такая вот плата за рекордно низкий шум.

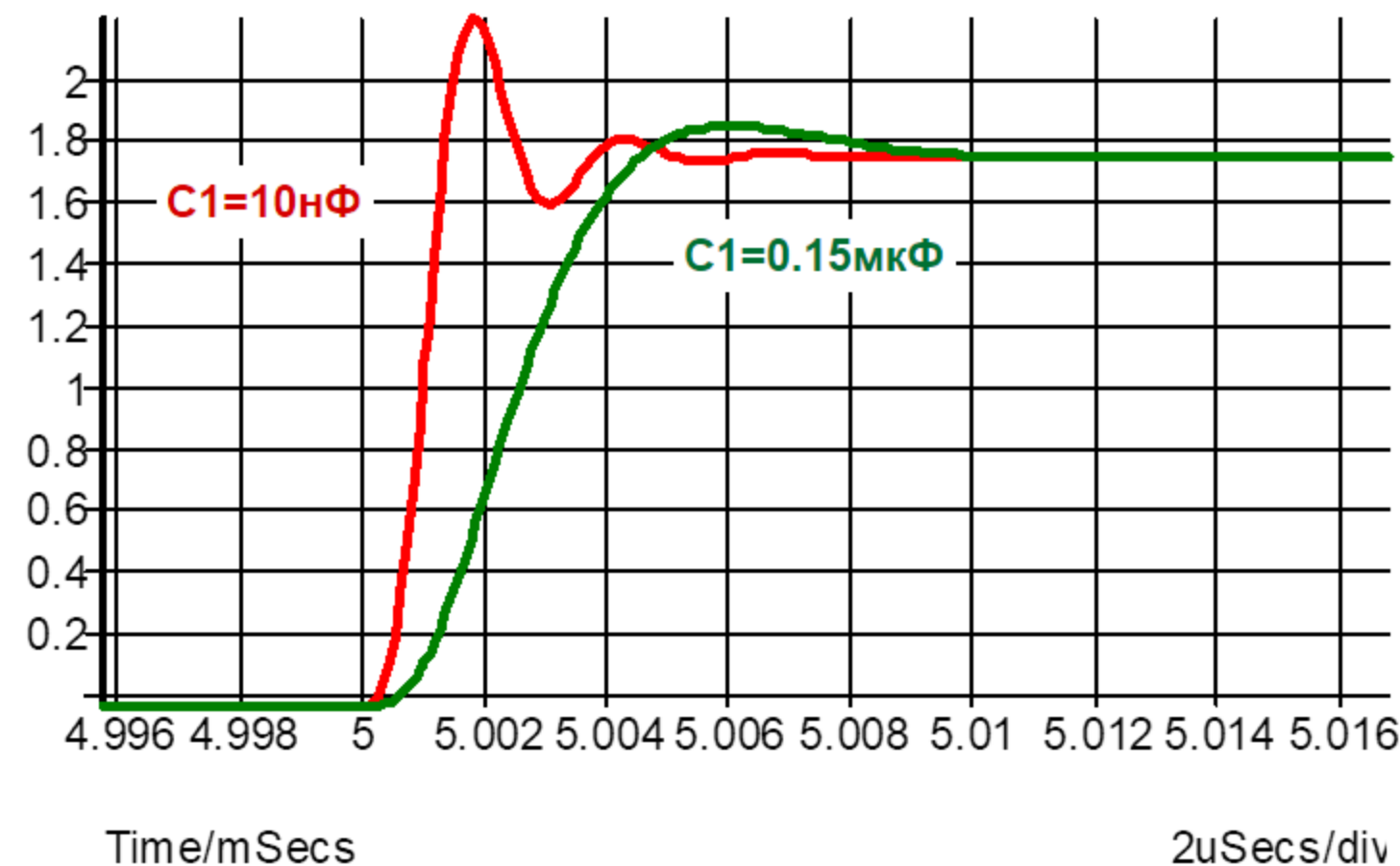




Эта схема не содержит ОУ и выполнена целиком на транзисторах средней мощности, включая входной каскад. Почему средней, а не малой? Да потому, что транзисторы с большой площадью кристалла имеют меньшее внутреннее шумовое сопротивление базы и эмиттера. Но почему же тогда такие транзисторы обычно не применяют в малошумящих входных каскадах? Дело в том, что у них резко падает коэффициент усиления при малых токах коллектора, а из-за этого большие базовые токи и, соответственно, токовые шумы. Таким образом, выигрывая в шумах внутренних сопротивлений, проигрываем в токовых шумах, что обычно хуже. Наилучший биполярный транзистор для входного каскада – это высокочастотный rnr транзистор с большим допустимым током коллектора, малым напряжением насыщения и большим коэффициентом усиления при малых токах коллектора. Эти параметры, к сожалению, противоречивые. В данной схеме сопротивление источника мало, поэтому базовые токи не вызывают сильного шума, и применение мощных транзисторов на входе оправдано. Конденсатора на входе нет, как нет и добавленного им шума, но и подмагничивающего постоянного тока через головку тоже почти нет. Это потому, что входные транзисторы соединены параллельно по переменному току, но последовательно по постоянному, вследствие чего их постоянные базовые токи компенсируют друг друга. Отличное решение! Несмотря на пониженное питание $\pm 5\text{В}$, перегрузочная способность этой схемы не хуже, чем у предыдущей. А уж устойчивость выше несравненно, схема абсолютно устойчива. Что касается шумов, картина не такая радужная. Приведенное ко входу напряжение шума здесь $1.24 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$, а соотношение сигнал/шум на выходе последующего фоновкорректора 81дБ. Это хорошо, хотя и похуже предыдущего. Конденсатор C1 желательно увеличить до 0.15мкФ для снижения добротности LC-контура из индуктивности головки и C1, и устранения колебательного звона на перепадах входного напряжения, как показано на графиках. АЧХ при этом тоже улучшается и становится абсолютно плоской до 40кГц. Кстати, изменив номиналы некоторых компонентов, и применив транзисторы ZTX618 и ZTX718, можно довести приведенный ко входу шум до $0.7 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ и сигнал/шум на выходе фоновкорректора до 85дБ.

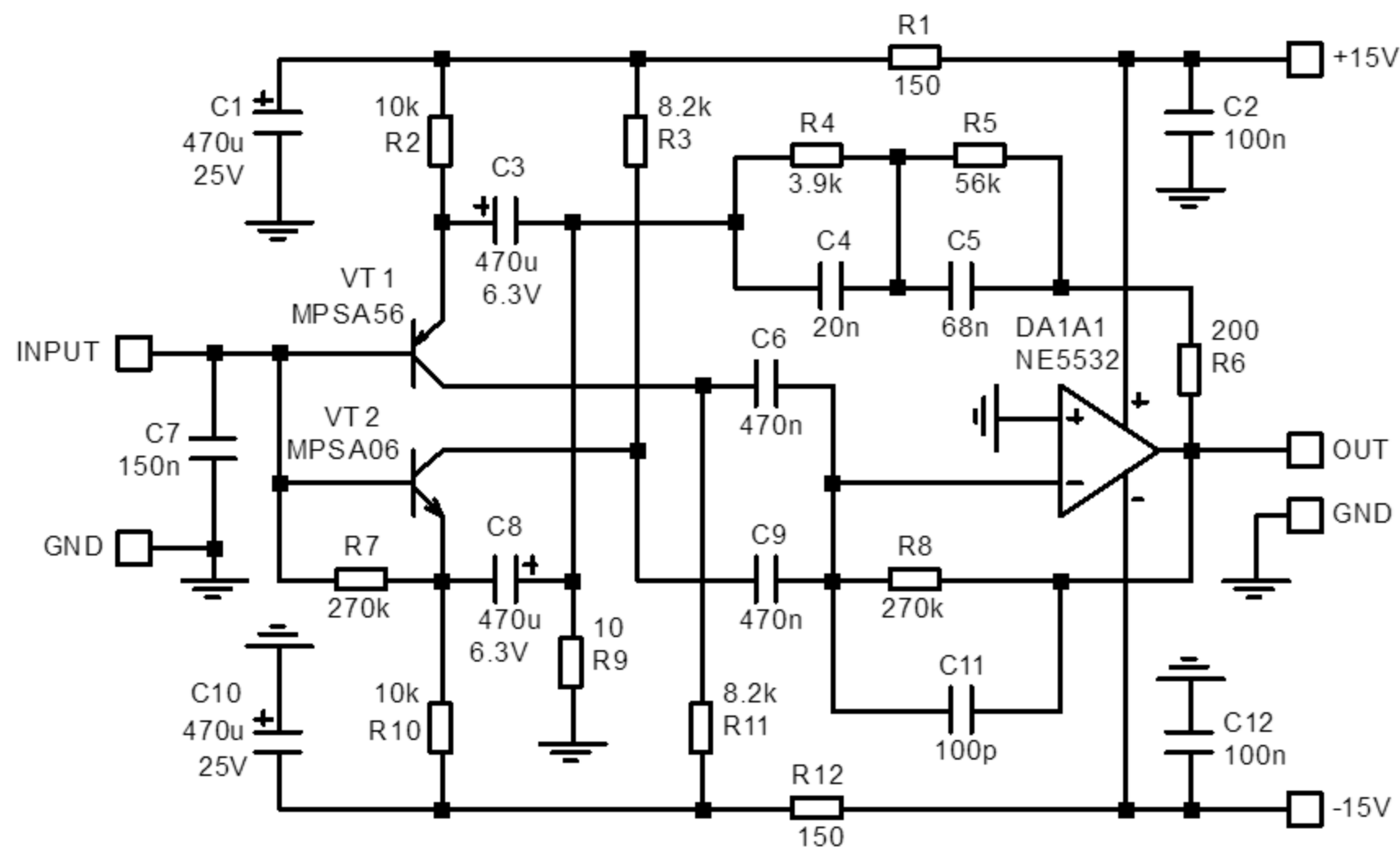


Вход / mV

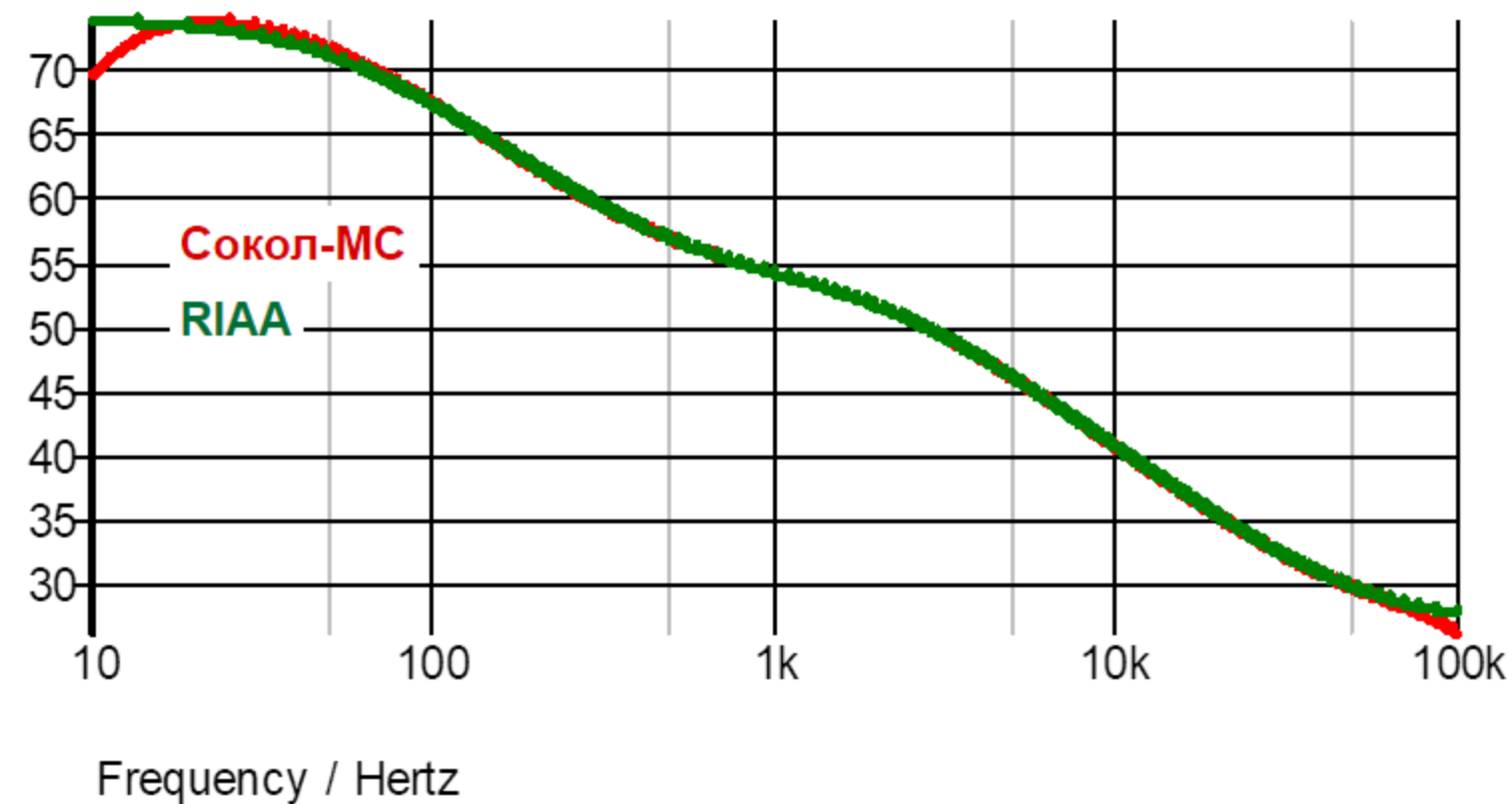




На схеме – разработанный мной RIAA фонокорректор для МС-головки с коэффициентом усиления 500 на 1кГц. Входной каскад как у Худа, но эффект Миллера устранен из-за почти нулевого входного сопротивления каскада на ОУ. Ток коллектора каждого транзистора 1.4мА, по постоянному току они соединены последовательно, а по переменному – параллельно. Резистор R7 полностью зануляет и без того очень малый разностный входной ток, текущий через головку, но для полной компенсации его величину нужно подобрать по нулю на базах при отключенной головке. Транзисторы VT1 и VT2 довольно мощные, с большим допустимым током коллектора и малыми внутренними сопротивлениями, но, в то же время, коэффициент усиления у них не падает резко при миллиамперных токах. Это – лучшее из доступных. Маломощные малозумящие транзисторы здесь не пригодны, слишком мало внутреннее сопротивление источника сигнала. Мощные транзисторы, как у Худа, здесь показывают худший результат. Автоустановка нуля на выходе выполнена без применения второго ОУ, как у Селфа, но результат тот же. Элементы R1, R12, C2, C12, C1, C10 могут быть общими для обоих каналов. Полученное на модели приведенное ко входу напряжение шума всего 0.67нВ/√Гц, а соотношение сигнал/шум на выходе 86дБ, почти как у Селфа, но при абсолютной устойчивости. Если на входе поставить подобранную аутентичную пару ZTX618 и ZTX718, то сигнал/шум на выходе будет 87дБ, как у Селфа. Но такие транзисторы трудно достать, тогда как указанные на схеме есть везде, а реально не хуже. Топология этого усилителя совершеннее Селфа, и, если уменьшить R9 до 3.3Ом, как у Селфа, приведенное напряжение шума будет 0.54нВ/√Гц, что лучше, чем 0.62нВ/√Гц у Селфа. Но запас устойчивости снизится, хотя и останется выше, чем у Селфа. АЧХ на графике, от 50Гц и выше – точно RIAA, ниже 30Гц – спад для устранения акустической обратной связи. Нелинейных искажений нет совсем, уровень второй гармоники -175дБ на 1кГц, что в тысячи раз меньше шума. Но это не удивительно, при 1мВ на входе любой усилитель будет высоколинейным. Перегрузочная способность отличная, при 50мВ 1кГц на входе еще нет клипа на выходе, тогда как МС-головка не может выдать больше 5мВ на этой частоте. А на более высоких частотах порог клипа растет, и на 20кГц он уже 250мВ, так что, про любые потенциальные перегрузки можно забыть.



dB / dB





Заклучение.

При правильном использовании МС-головка превосходит ММ-головку по всем параметрам, но цены на такие головки очень высоки.

На этом все. Благодарю за внимание.

До свидания и до следующих встреч.

Вопросы и пожелания сюда: 1t308a@gmail.com