

Винил-корректор, возвращаясь к напечатанному...

Около 30-ти лет назад был опубликован усилитель-корректор [1], его проект показан на фото из рабочей тетради тех лет, рис. 1

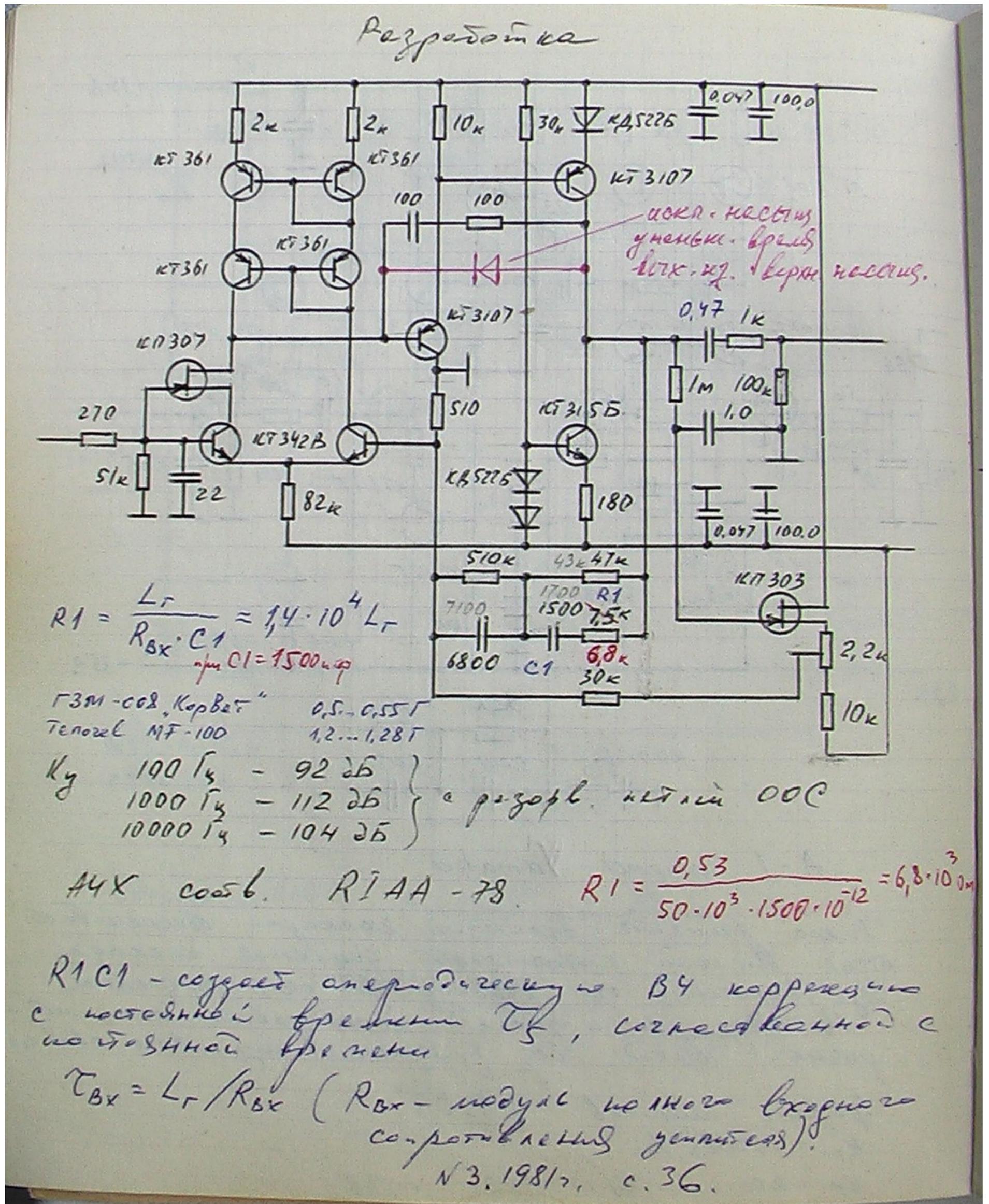


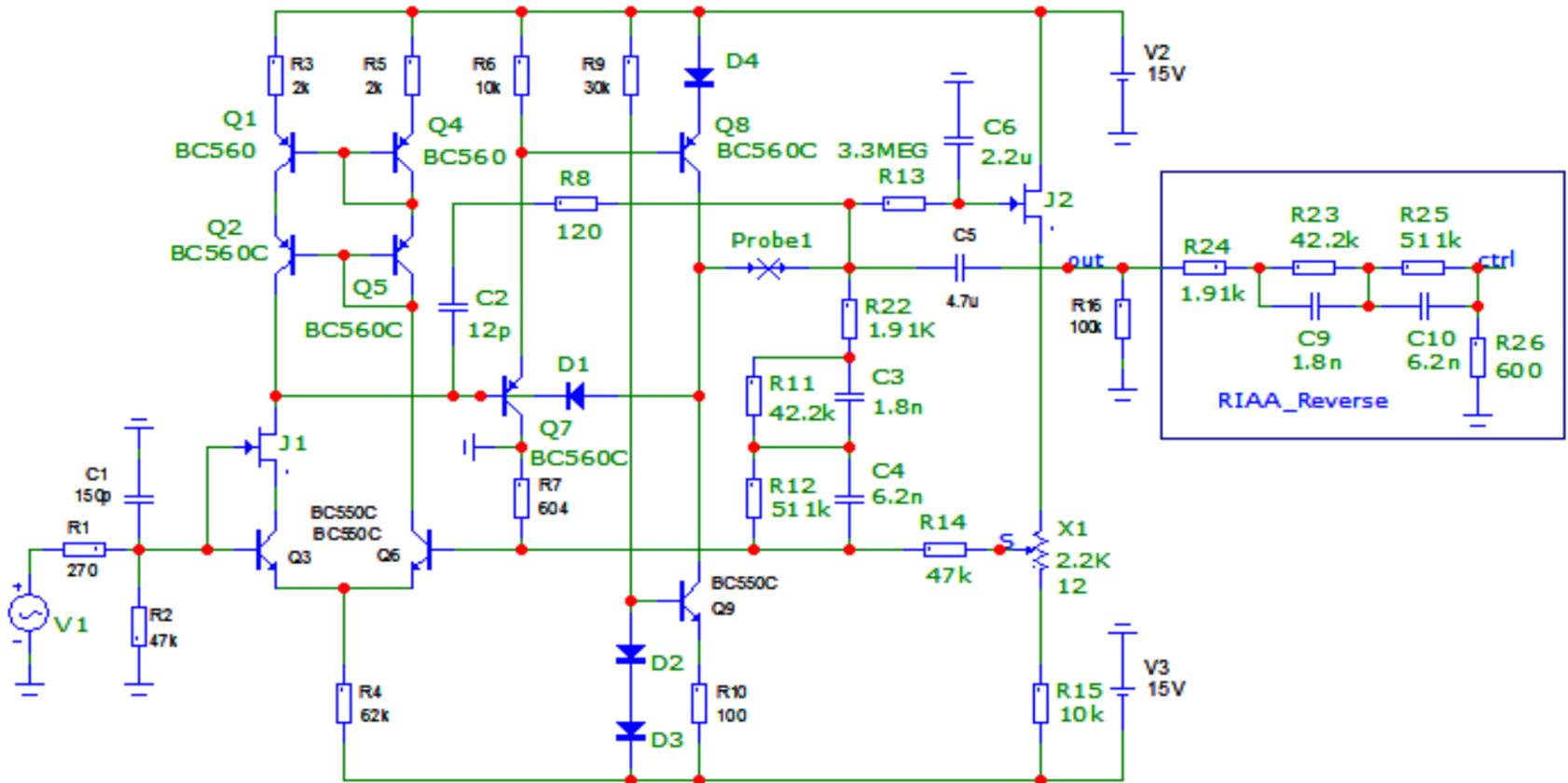
Рис. 1

На фото видны параметры снятые в то время на одном из первых опытных образцов - усиление с разомкнутой петлей ООС:

- на частоте 100 Гц - 92 дБ
- на частоте 1 кГц - 112 дБ
- на частоте 10 кГц - 104 дБ

При усилении на частоте 1 кГц 40 дБ петлевое усиление опытного образца составляло 72 дБ!

Сегодня есть возможность проверить этот корректор по параметрам виртуально и сделать уточнения некоторых элементов для более точного совпадения АЧХ с идеальной, рис. 2



диод D1 сокращает время выхода из насыщения верхнего плеча при перегрузке
 Сопротивление нагрузки должно быть не менее 10 кОм!
 Интегратор позволил убрать емкость в цепи ООС на общий
 В точке S на частоте 20 Гц ослабление сигнала 3.3 дБ, дальнейшее ослабление делителем R14/R7 в 77,8 раз (38 дБ). Итого: ослабление влияния сервоконтроля на частоте 20 Гц равно 3,3 + 38 = 41,3 дБ (что удовлетворяет требованию не менее 40 дБ)

Рис. 2

Воспользуемся вспомогательной схемой реверсивной схемы RIAA подключенной к выходу корректора и снимем диаграмму Бode, рис. 3

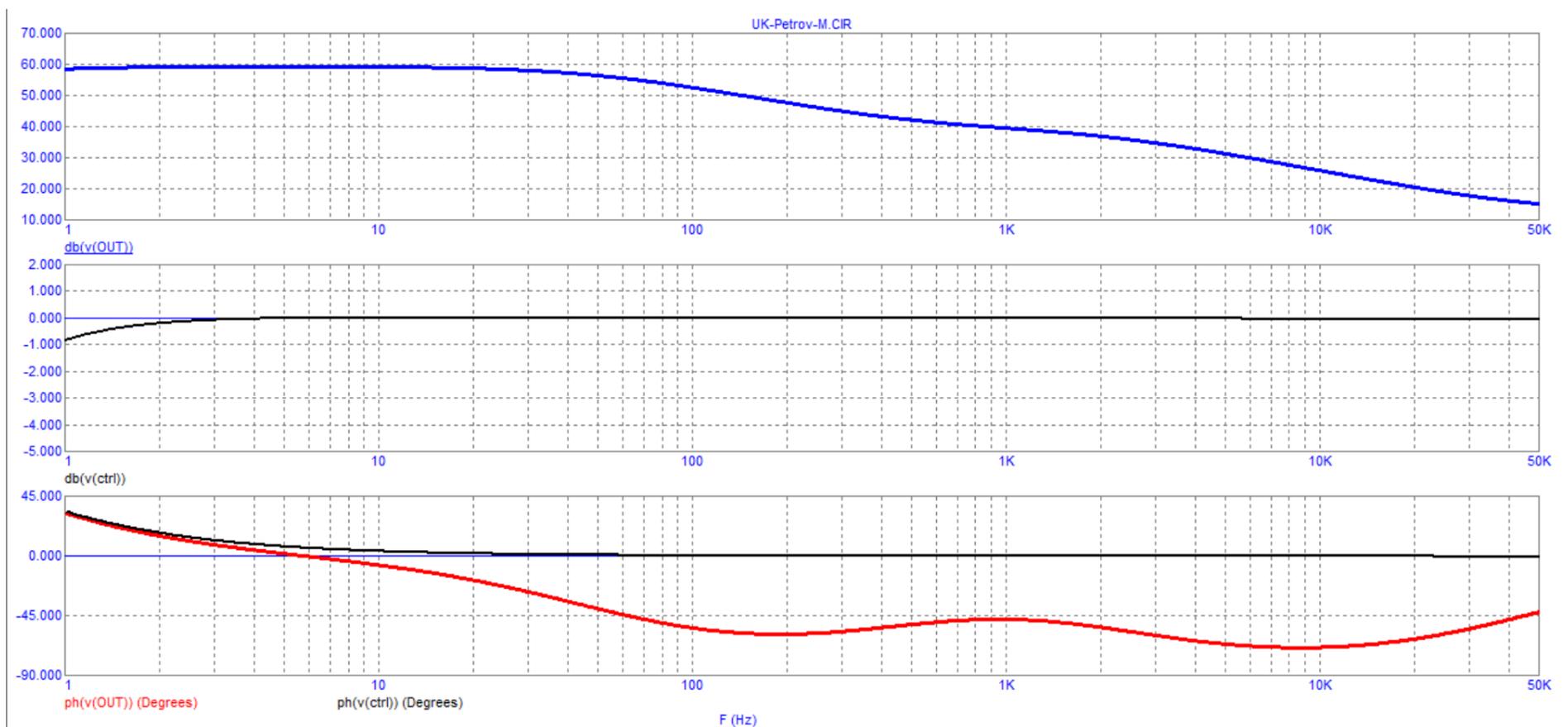


Рис. 3

Из диаграммы Бode видно что сквозная АЧХ и ФЧХ (черные линии) в диапазоне частот от нескольких Гц до 50 кГц представляют собой прямую линию.

На частоте 1 кГц усиление составляет 40 дБ, на частоте 20 Гц почти на 20 дБ выше, а на частоте 20 кГц почти на 20 дБ ниже.

Снимем график петлевого усиления, рис. 4

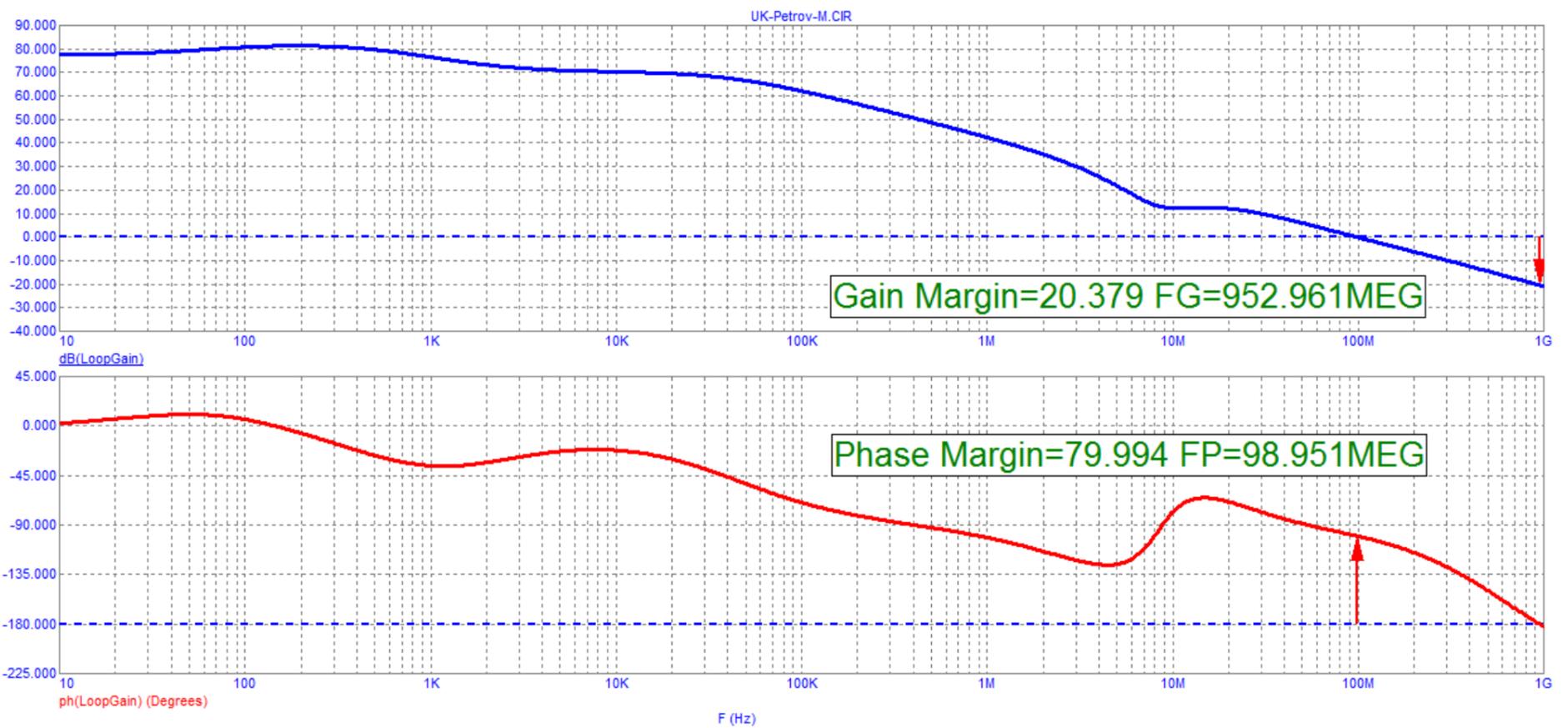


Рис. 4

В диапазоне частот выше 3 кГц петлевое усиление не менее 70 дБ, а в области низких частот достигает 80 дБ. Можно сказать что в целом петлевое усиление достаточно постоянно что гарантирует и высокую способность подавления гармонических искажений. Но это теоретически, а что измерения? Перенесем реверсивный фильтр RIAA на вход усилителя-корректора (УК) и проверим искажения сквозного тракта на частоте 1 кГц при выходном напряжении 3 В(пик), рис. 5

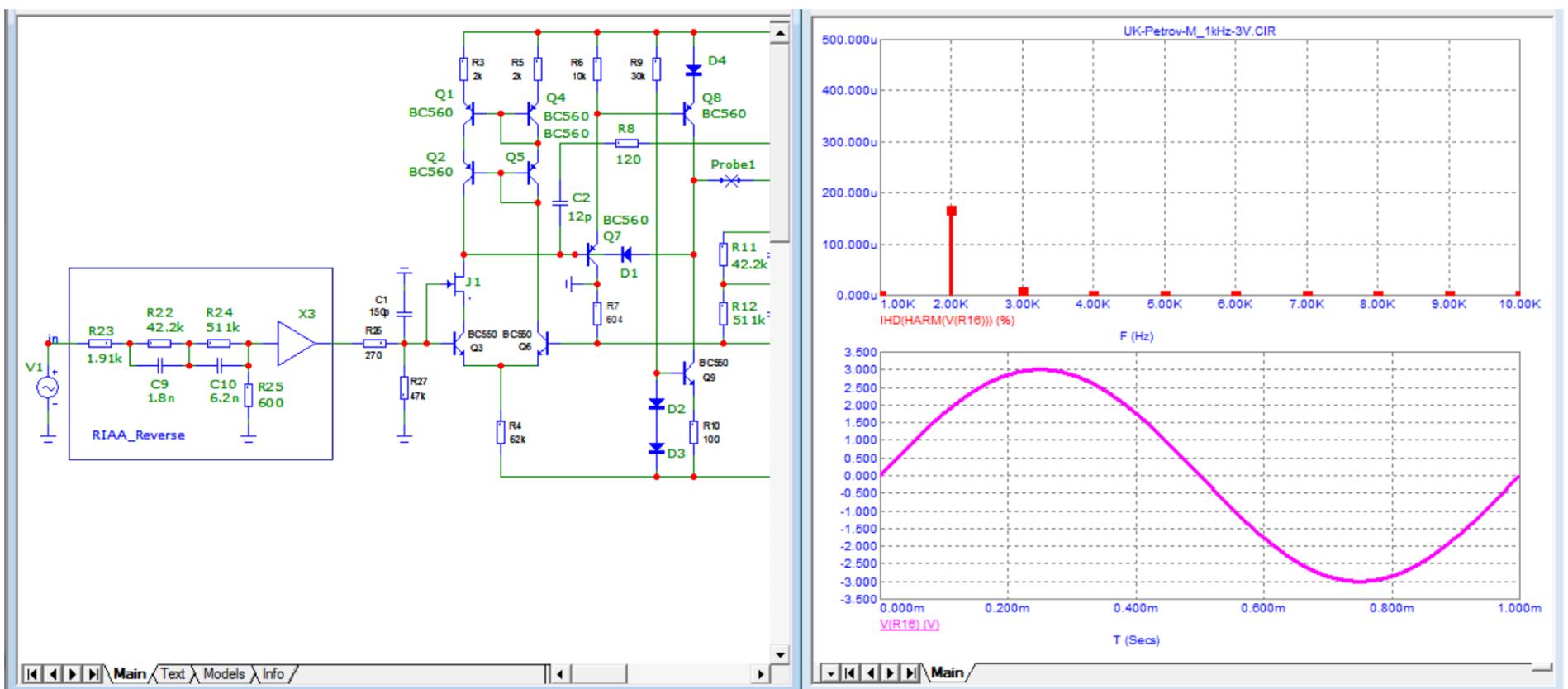


Рис. 5

Как видим на частоте 1 кГц в спектре практически одна 2-я гармоника уровнем 0,00017% что как правило характерно для усилителей с одноконтным выходным каскадом. Проверим вносимые искажения на частоте 20 кГц, рис. 6

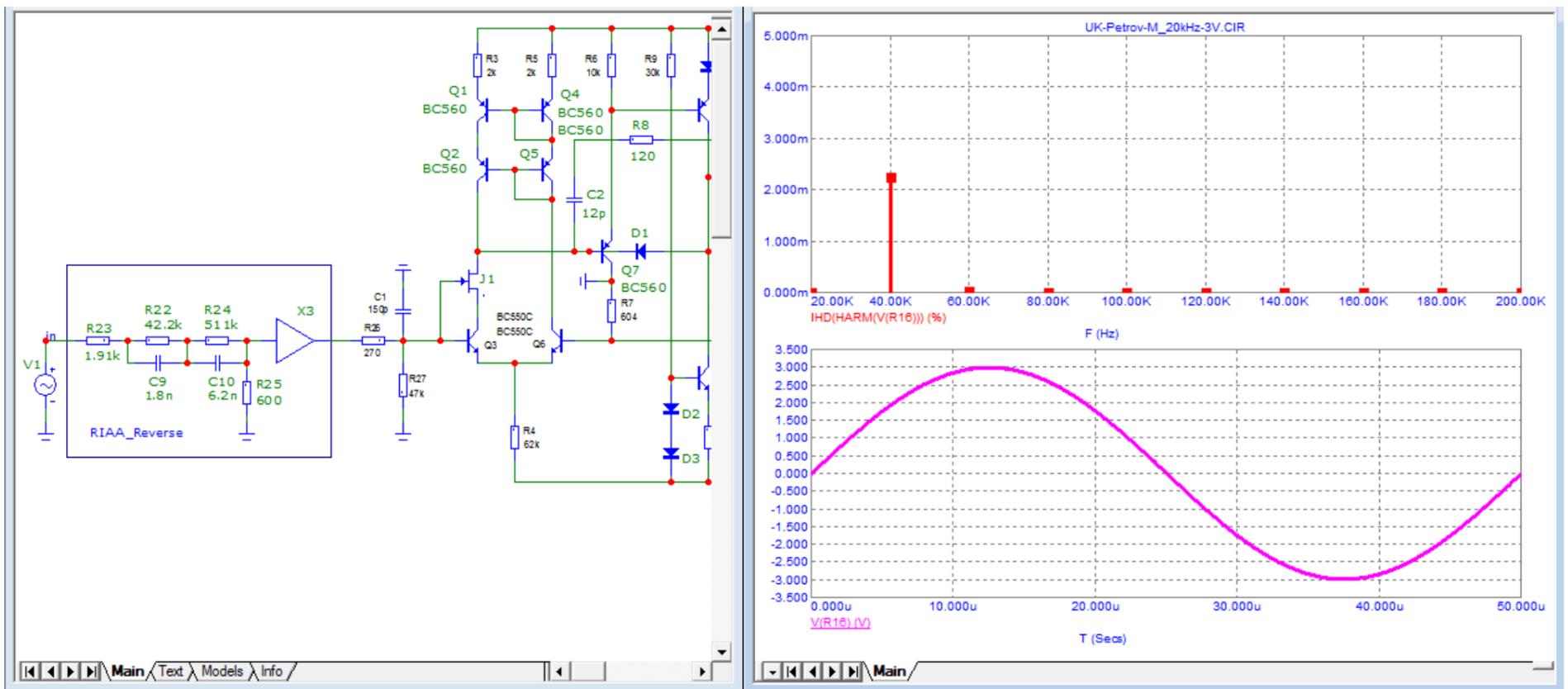


Рис. 6

На частоте 20 кГц петлевое усиление ниже чем на частоте 1 кГц, поэтому уровень искажений выше и равен 0,0022%, в спектре также фактически одна 2-я гармоника.

Проверим что происходит на низшей частоте звукового диапазона, рис. 7

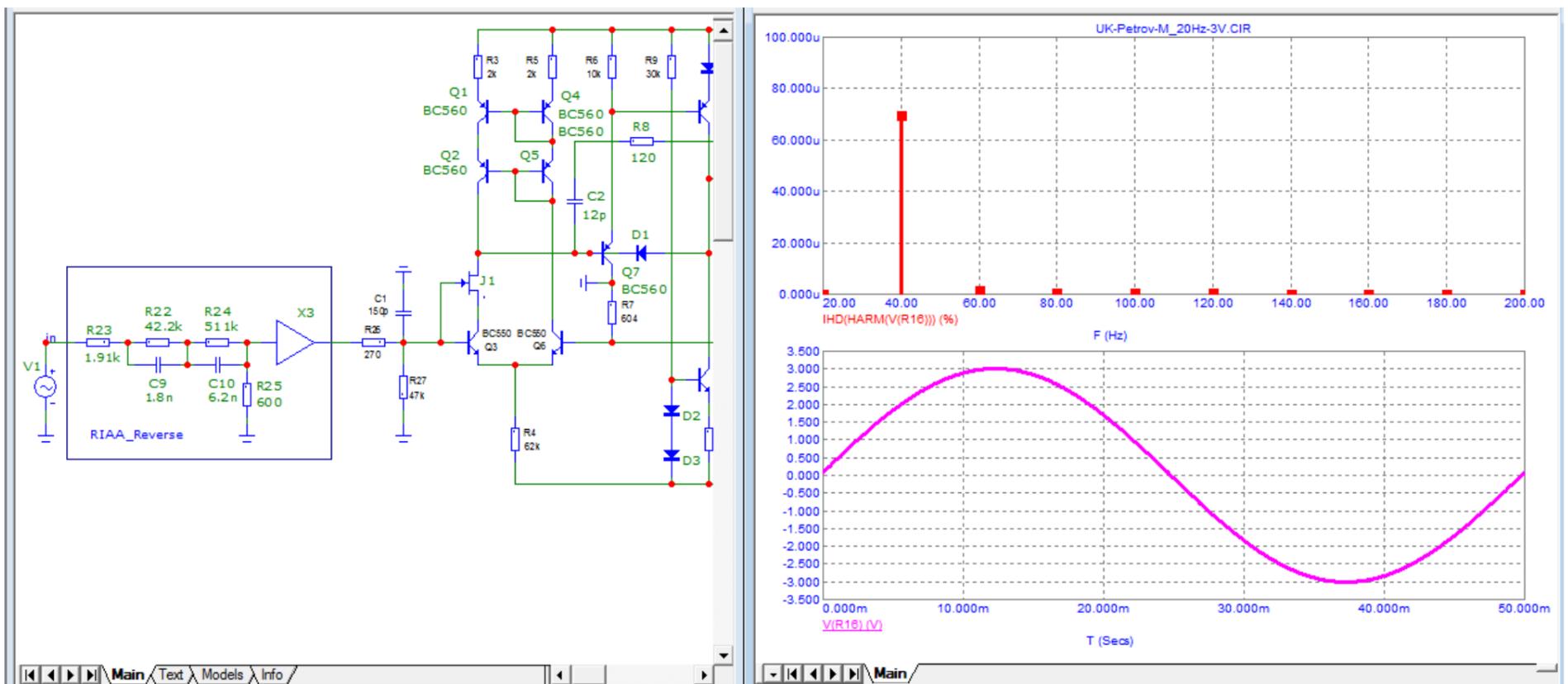


Рис. 7

На частоте 20 Гц в установившемся режиме искажения ничтожно малы и составляют всего 0,00007% и также одна вторая гармоника. Я неоднократно заострял внимание на зависимости уровня спектральных составляющих от переходных процессов. Разные схемы усилителей имеют совершенно разные продолжительности переходных процессов на разных частотах, от этого во многом зависят и различия в звуке при одинаковых измеряемых параметрах в установившемся режиме.

Снимем зависимость коэффициента гармонических искажений на 10-м периоде с номиналами интегратора в первоначальной версии УК, рис. 8

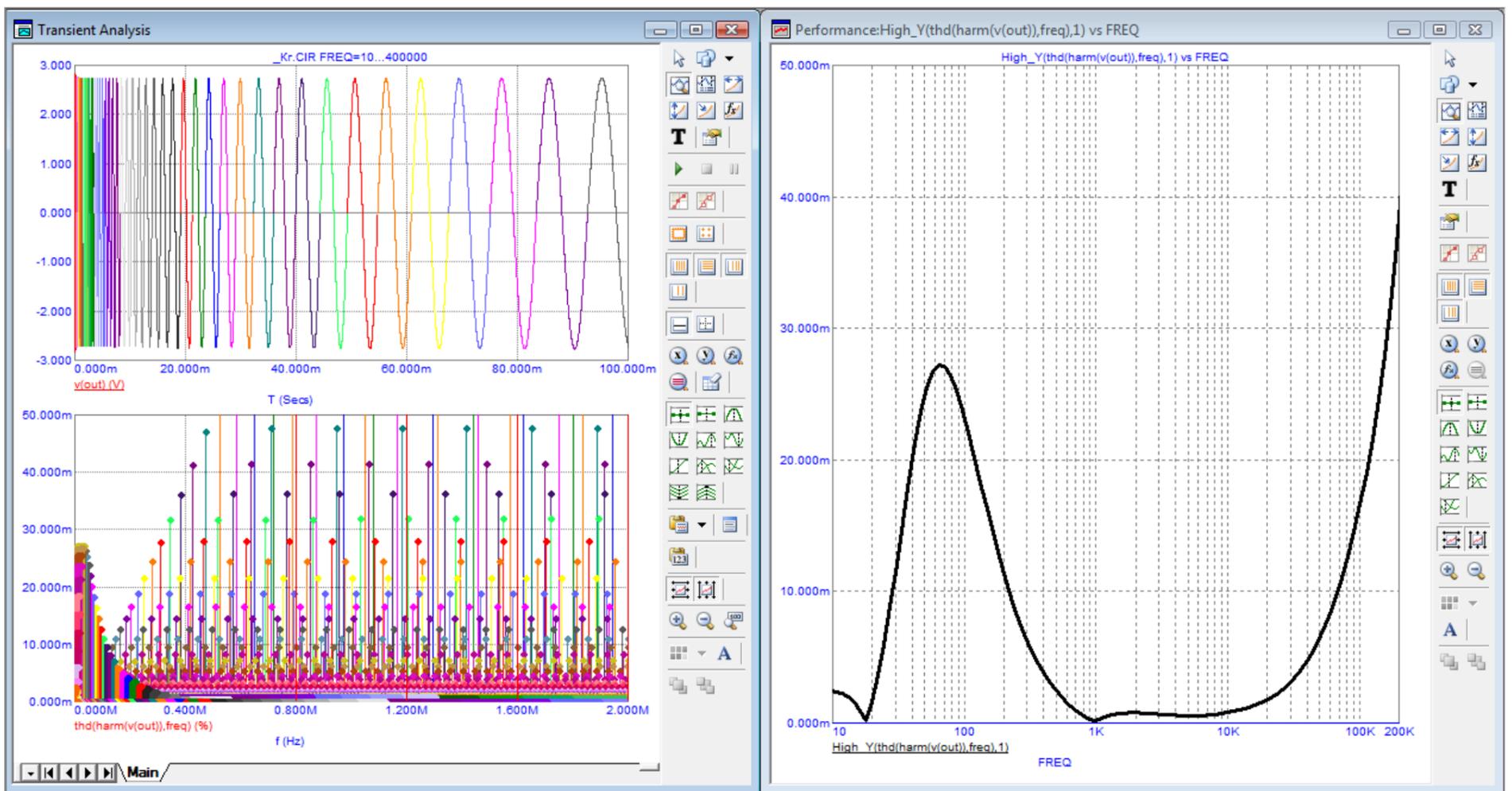


Рис. 8

Интегратор вносит дополнительные переходные искажения которые вызывают рост гармонических составляющих с пиком на частоте около 60 Гц и достигающие уровня 0,027%. Рост искажений начинается с частоты 1 кГц.

Увеличим постоянную времени схемы сервоконтроля и снова снимем зависимость Кг, рис. 9

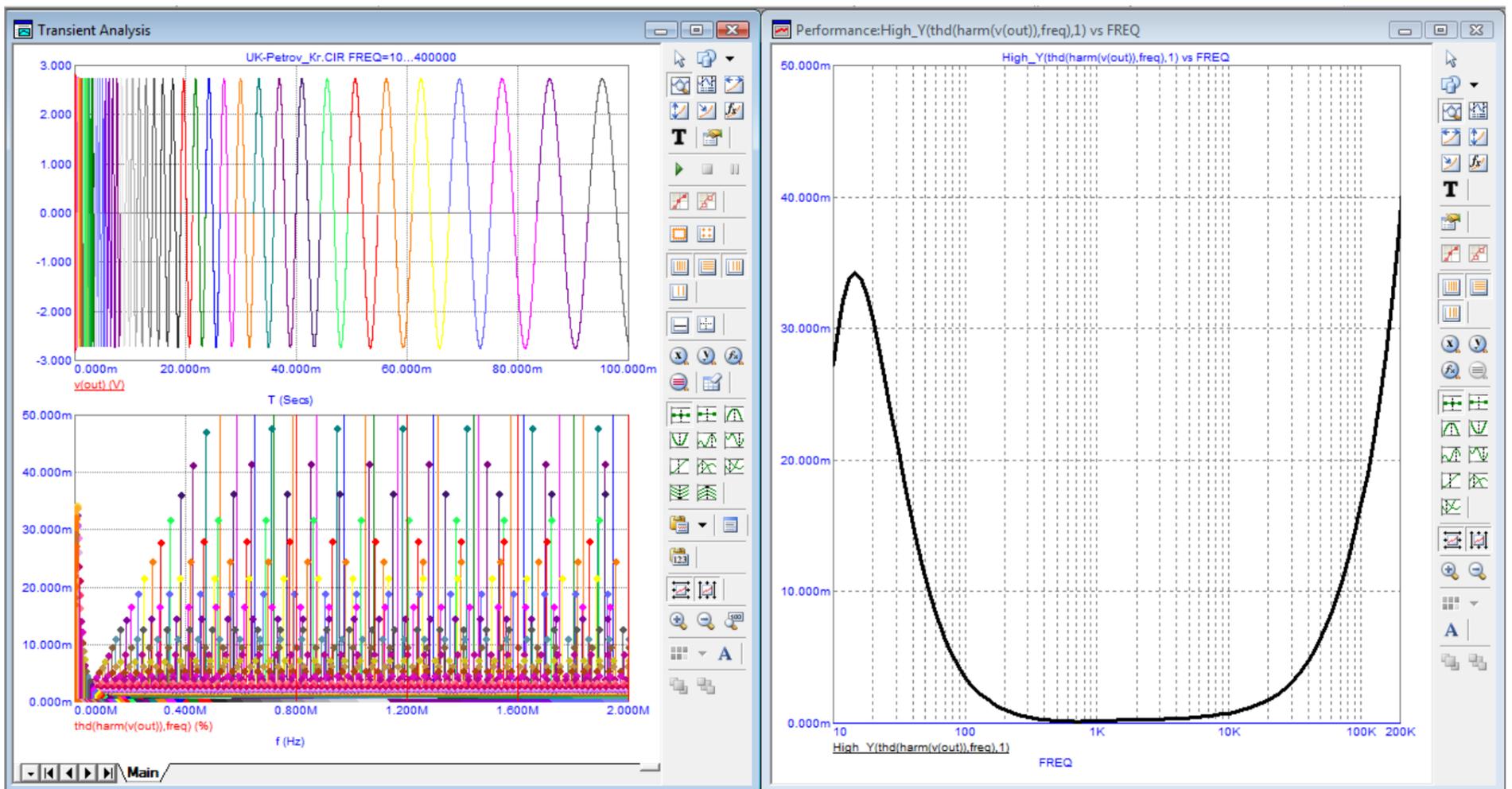


Рис. 9

Судя по графику область роста искажений снизилась более чем в 3 раза, область пика искажений сместилась ниже 20 Гц. При этом на частоте 20 Гц уровень Кг на 10-м периоде равен 0,03% в то время как в установившемся режиме составляет всего 0,00007% (рис. 7).

В дополнение к проведенным исследованиям проверим работу УК на сигнале типа меандр частотой 2 кГц, рис. 10

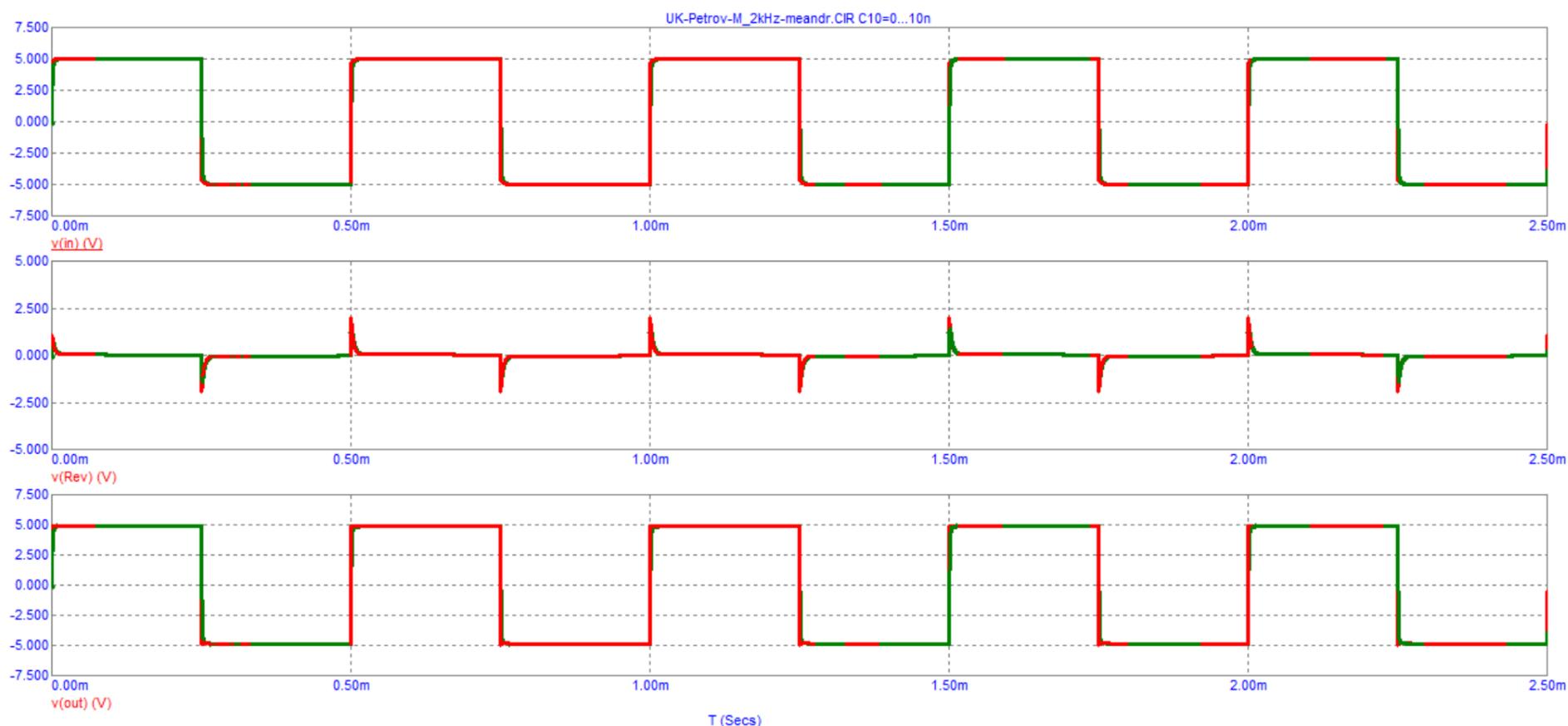


Рис. 10

На первой осциллограмме показан сигнал на входе реверсивного фильтра RIAA в двух режимах: красная меандр идеальный, зеленая — пропущен через ФНЧ 160 кГц. Вторая осциллограмма — сигнал на выходе реверсивного фильтра (эквивалентно сигналу с тестового диска) т.е. на входе УК. Третья осциллограмма сигнал на выходе УК. Как видим сигнал практически полностью восстанавливается как по форме, так и по амплитуде. Аналогичные исследования проведены в [2] на частоте 1 кГц.

При эксплуатации УК автор не заметил никаких артефактов связанных с относительно низким напряжением питания (± 15 В), При желании напряжение питания рассмотренного УК можно поднять до $\pm 20...25$ В. При этом желательно заменить транзисторы выходного каскада на чуть более мощные и более высоковольтные, например на 2SC2705/2SA1145 а еще лучше на 2SC3423/2SA1360.

Проверим перегрузочную способность усилителя на частоте 20 кГц, рис. 11

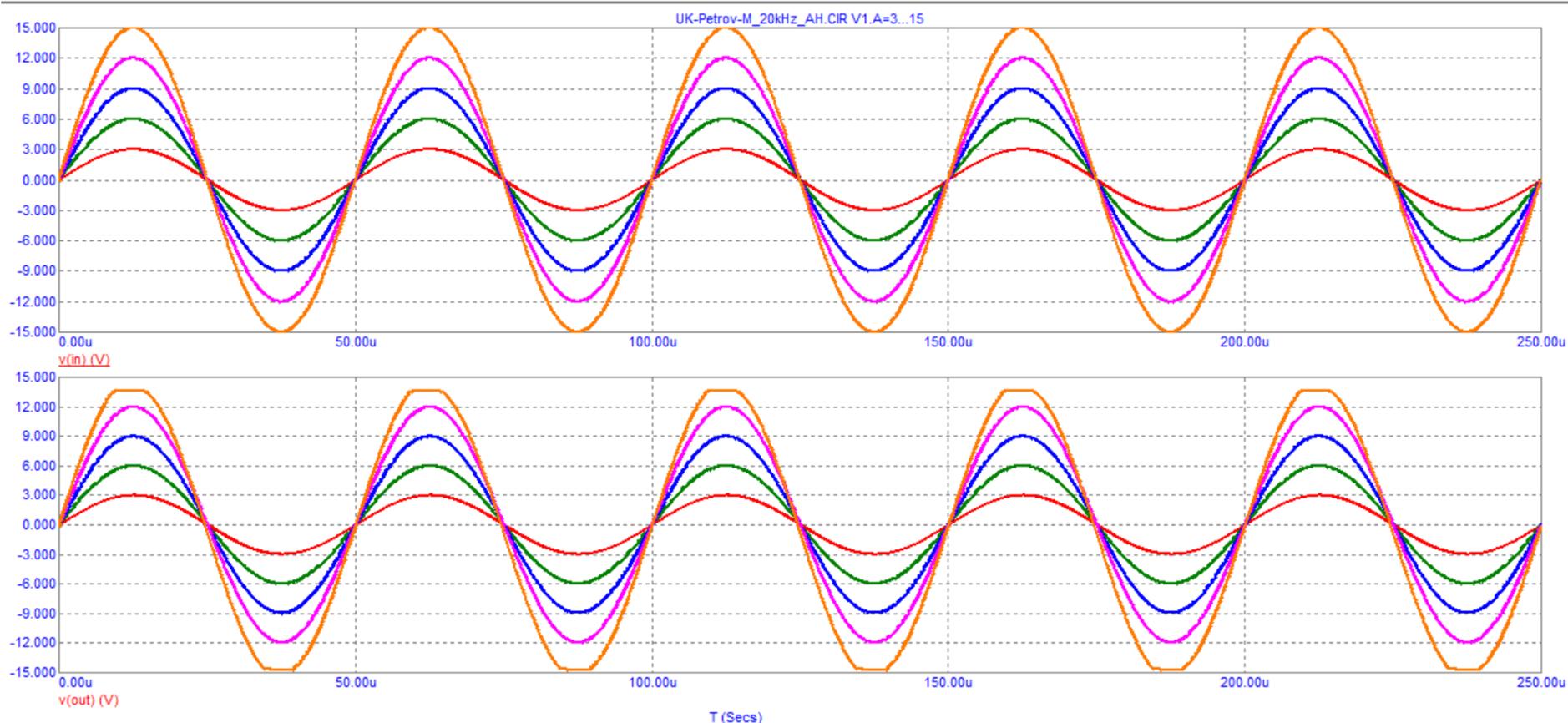


Рис. 11

Как видим даже при перегрузке сигнал не претерпевает каких либо искажений формы сигнала, обычное клипирование, правда малость асимметричное. Чтобы выровнять клипирование, и приблизить ГСТ к идеальному достаточно добавить два элемента (светодиод и транзистор Q10), т. е. сделать его каскодным, рис. 12

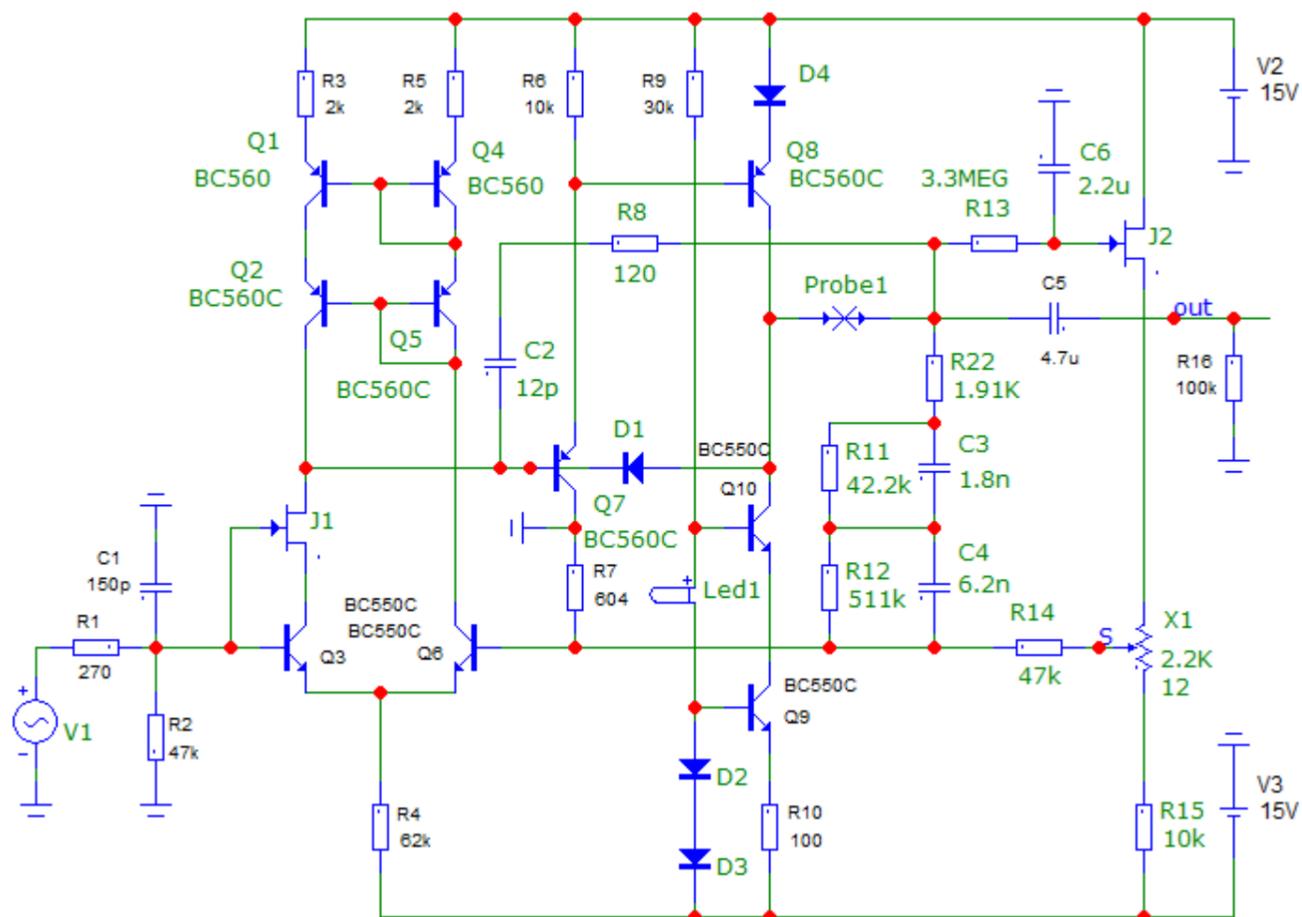


Рис. 12

Принято считать что УК с пассивной коррекцией превосходят по качеству звука корректоры с активной коррекцией. На мой взгляд это достаточно спорное утверждение. Почему то забывают что усилители записи на лаковый диск управляются преимущественно усилителями с активной коррекцией. Дело в том что подавляющее большинство УК с активной коррекцией имеют ряд недостатков которые сказываются на качестве их работы. В отличие от УМЗЧ с низким первым полюсом, в которых спад АЧХ с разомкнутой ООС (6 дБ/окт) ведет к снижению глубины ООС к концу звукового диапазона, в УК спад АЧХ самого усилителя почти совпадает со спадом АЧХ УК что обеспечивает практически постоянной глубиной ООС во всем звуковом диапазоне. Это благоприятно сказывается и на качестве работы удачных разработок УК. А удачных разработок на транзисторах и ОУ не так уж и много. Неплохой усилитель из относительно простых любительских разработок описан в [3]. Сегодня можно сделать хороший УК на современных ОУ, например [4] или на ОУ с пассивной коррекцией [5], [6].

Что касается схем по борьбе с царапинами и щелчками от пылинок, то на мой взгляд их можно использовать в крайнем случае только на «убитых» дисках. В остальных случаях от них больше вреда, чем пользы.

Литература

1. А.Петров, Современный усилитель-корректор, Радиолобитель 1992-02 с. 33
2. Inverse RIAA Circuit - Jumper Selectable, <https://www.lathetrolls.com/viewtopic.php?t=5848>
3. B.Sykora, P.Dudek, Predresilovace pro prenoscu s pohyblylivym magnetem, Amaterske Radio 1990-02 p.67 https://archive.org/details/amaterske_radio_1990/90-02/page/n23/mode/2up
4. Dan Stanley, A High-Quality MM IC Preamp, AudioXpress 2004-07 p.6-13 (Радиолюбитель 2004-04, Дайджест, с. 21 рис.17)
5. О.Шаманков, ММ корректор Prophetmaster Audio, <http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=84728>
6. А.Петров, Пассивные Боды для винила, Радиолюбитель 2013-03

А.Петров

2 ноября 2020 года