

Влияние системы сервоконтроля на работу усилителя

Influence of the servo control system on the operation of the amplifier

Рассмотрим влияние системы сервоконтроля на примере следующей модели, рис. 1

Let us consider the influence of the servo control system using the example of the following model, Fig. 1

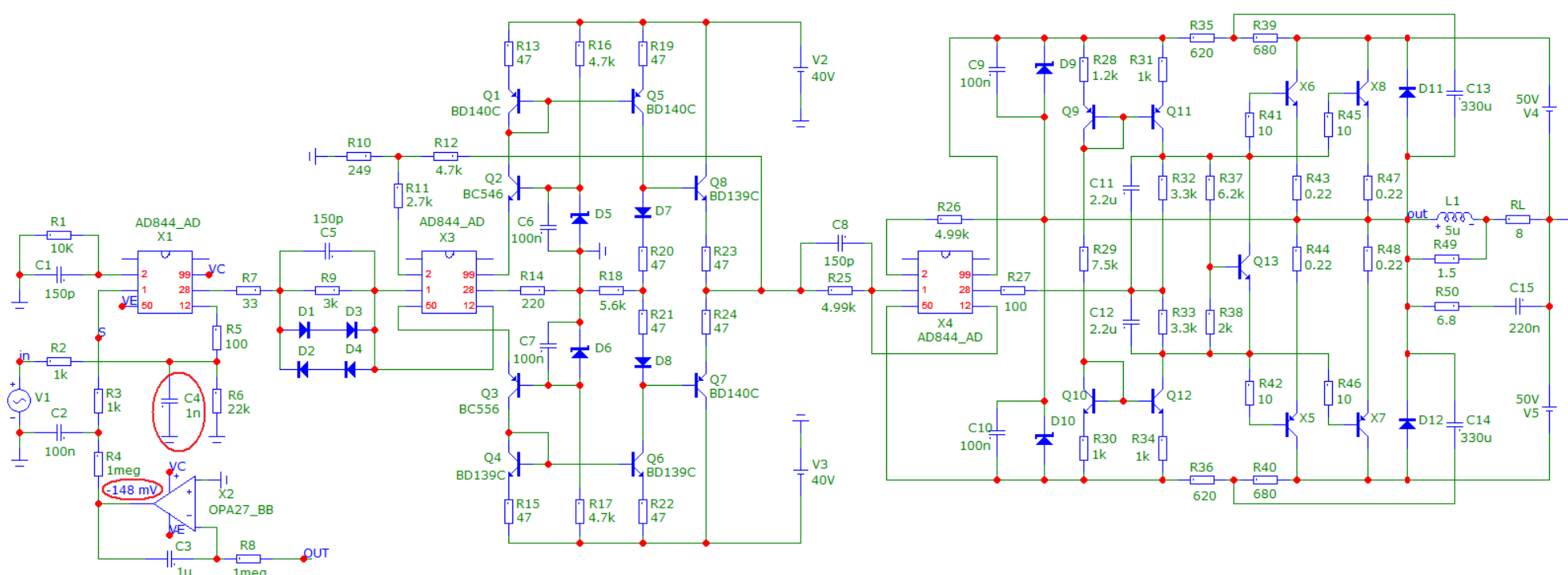


Fig. 1

Интегратор системы сервоконтроля находится в цепи ООС и его параметры влияют на работу усилителя. Для проверки влияния сервоконтроля используем многотональный сигнал.

The integrator of the servo control system is in the NFB circuit and its parameters affect the operation of the amplifier. To check the influence of servo control, we use a multi-tone signal.

Без конденсатора C4 время прохождения сигнала в усилителе имеет отрицательное значение которое в середине звукового диапазона достигает значения минус 15 нс. Если установить C4 емкостью 36 пФ, то время задержки прохождения сигнала становится положительным около 20 нс. Для начала проверим работу усилителя без системы сервоконтроля. Для этого отключим нижний вывод резистора R4 от интегратора и подключим к нему источник напряжения уровнем минус 148 мВ. Подаем на вход сигнал и проверяем интермодуляционные искажения, рис. 2

Without capacitor C4, the signal propagation delay time in the amplifier has a negative value, which in the middle of the audio range reaches minus 15 ns. If you install C4 with a capacitance of 36 pF, then the signal propagation delay time becomes positive at about 20 ns. First, let's check the operation of the amplifier without the servo control system. To do this, disconnect the lower terminal of resistor R4 from the integrator and connect a voltage source of minus 148 mV to it. We apply a signal to the input and check the intermodulation distortion, Fig. 2

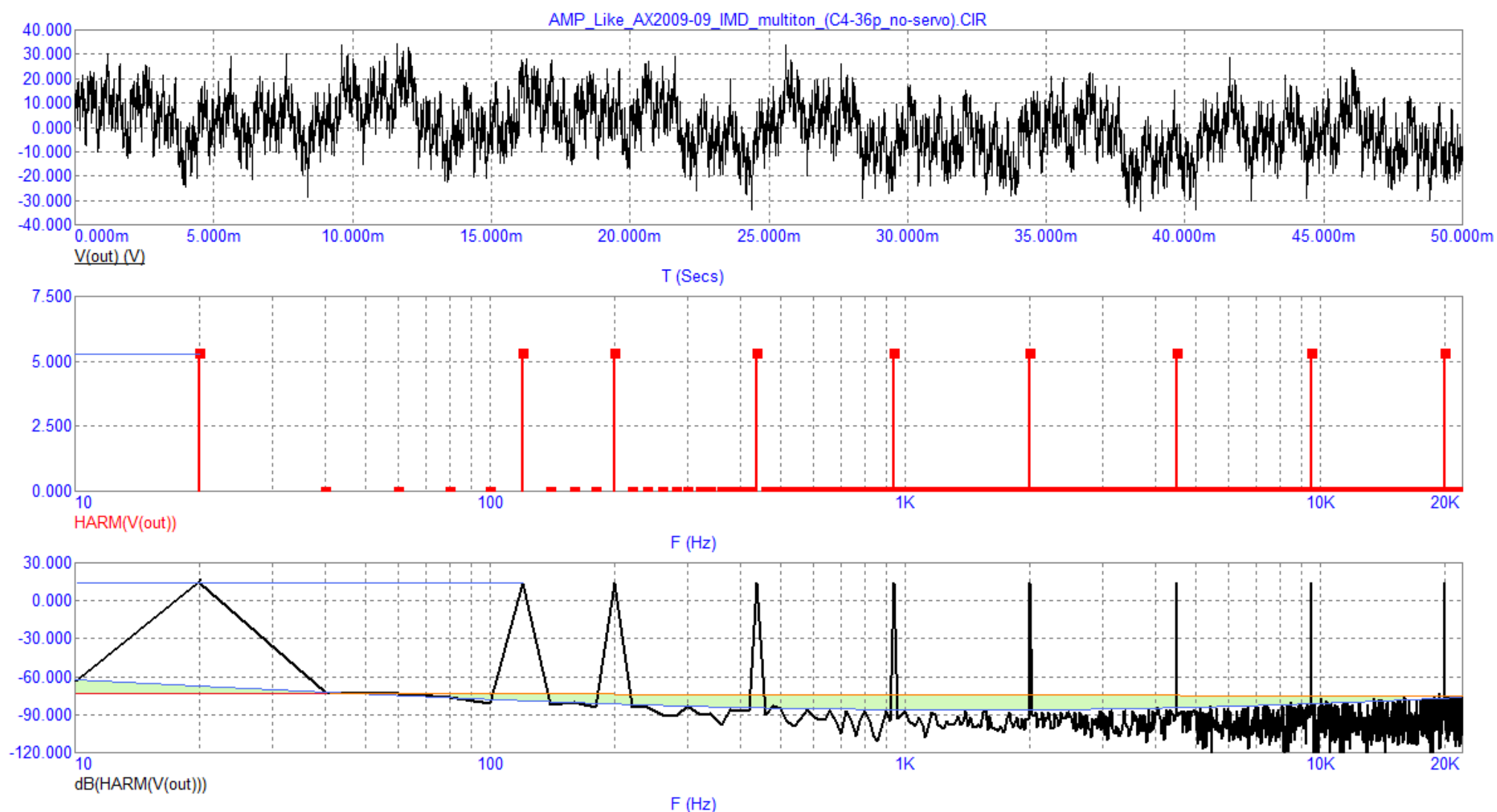


Fig. 2

Из рисунка 2 видно что в середине звукового диапазона нижний уровень шума около минус 90 дБ, а полный динамический диапазон с учетом уровня полезного сигнала около 30 дБ составляет $90 + 30 = 120$ дБ. По краям звукового диапазона уровень шума возрастает на 10...15 дБ.

Figure 2 shows that in the middle of the audio range, the lower noise level is about minus 90 dB, and the full dynamic range, taking into account the useful signal level of about 30 dB, is $90 + 30 = 120$ dB. At the edges of the sound range, the noise level increases by 10 ... 15 dB.

Можно отключить индикацию спектра в дБ (третий график) и растянуть второй график чтобы посмотреть в абсолютных значениях, рис. 2а)

You can turn off the indication of the spectrum in dB (third graph) and stretch the second graph to view in absolute values, Fig. 2a)

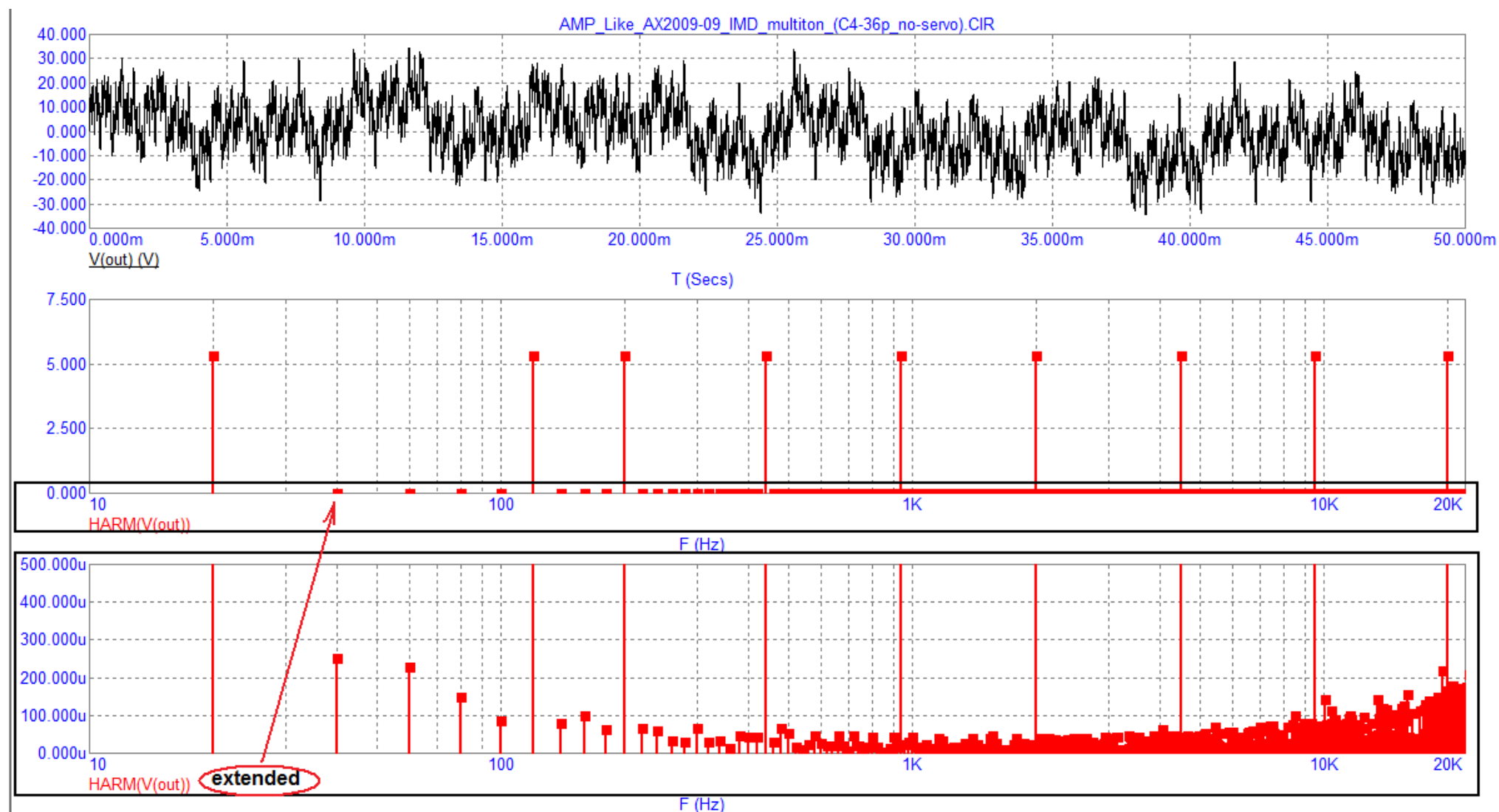


Fig. 2a)

В абсолютных значениях наблюдаем ту же тенденцию

Включим систему сервоконтроля и повторим тест, рис. 3а) и 3

In absolute terms, we observe the same trend

Turn on the servo control system and repeat the test, fig. 3a) and 3

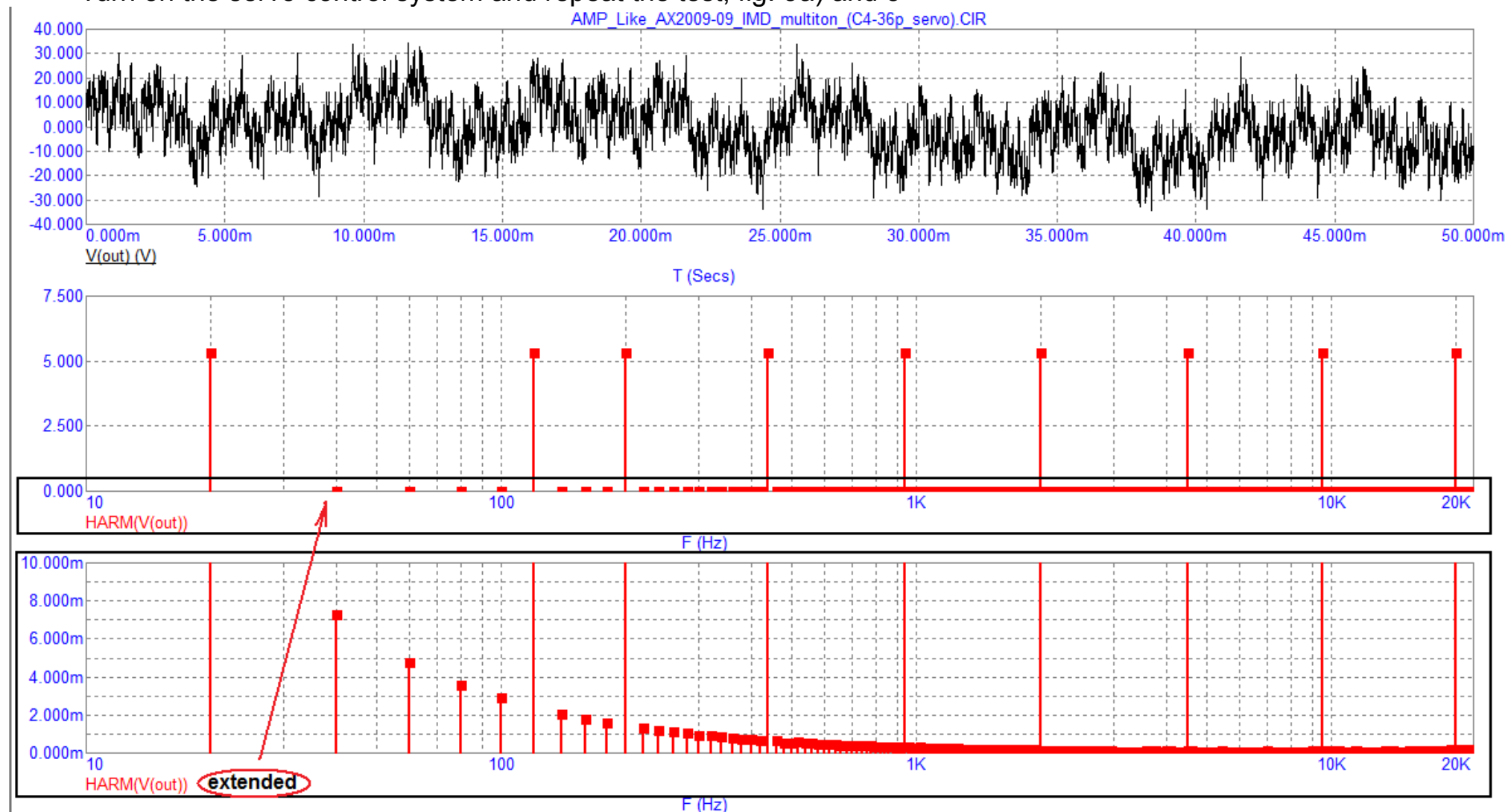


Fig. 3a)

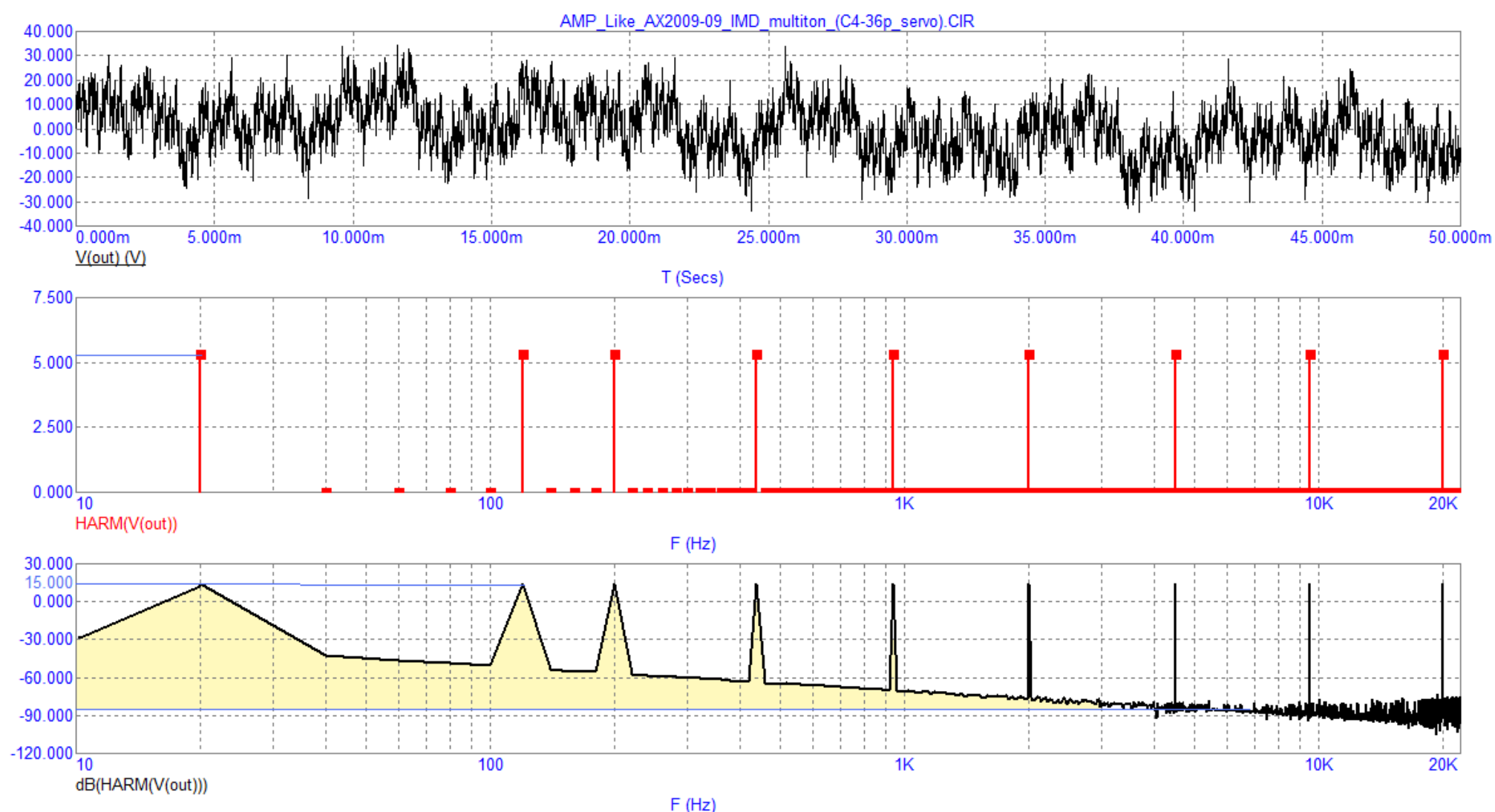
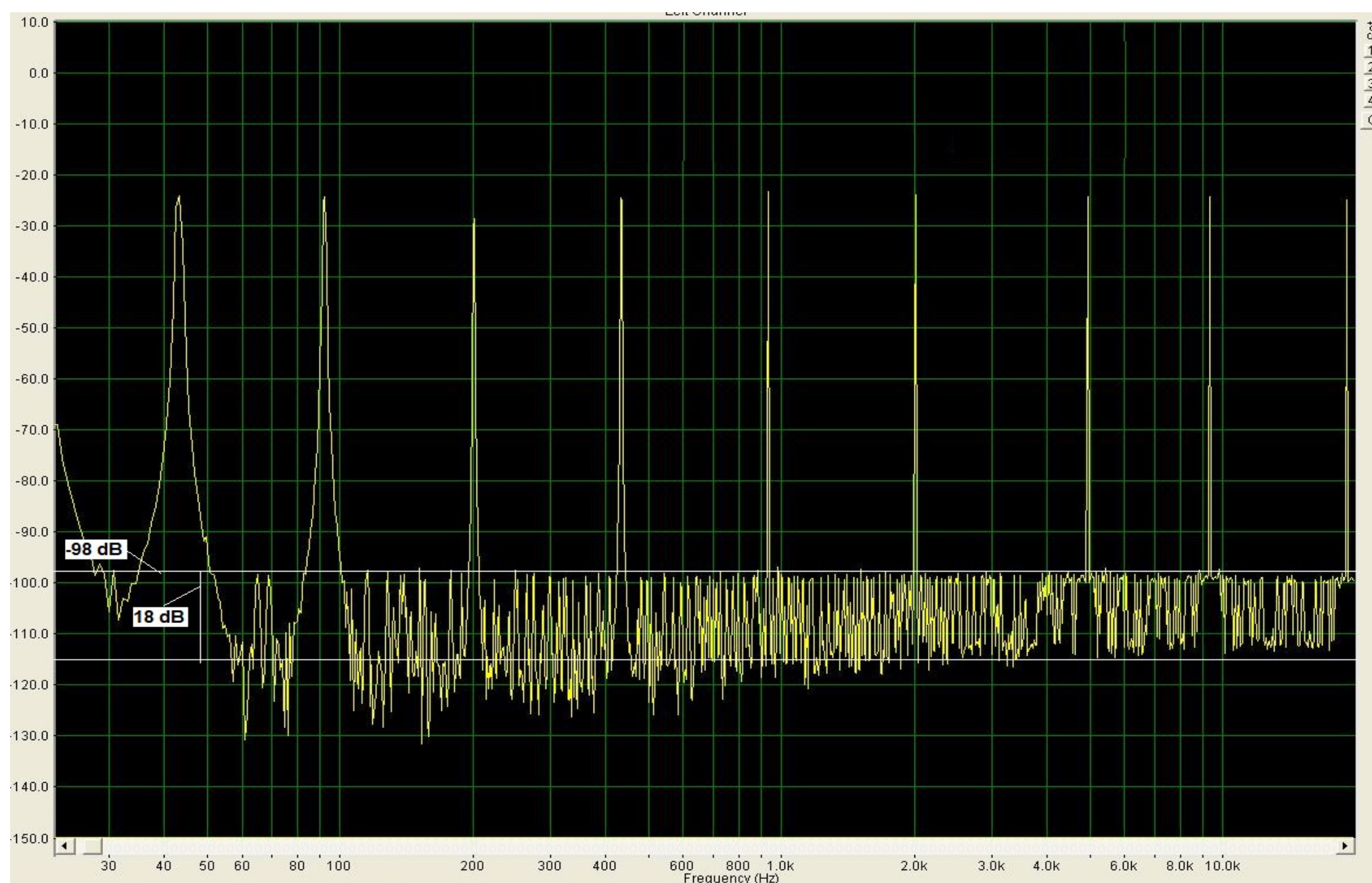


Fig. 3

Из рисунка 3 видно что в сторону НЧ уровень шума вырос до минус 40 дБ, что привело к снижению динамического диапазона в этой области до минус 70 дБ. На самом деле шум представляет собой продукты искажений в виде переходных искажений связанных с работой системы сервоконтроля и интермодуляции высокого порядка, например, как это показано на следующем рисунке

Figure 3 shows that towards the low frequency the noise level increased to minus 40 dB, which led to a decrease in the dynamic range in this area to minus 70 dB. In fact, noise is a distortion product in the form of transient distortion associated with the operation of the servo control system and high-order intermodulation, for example, as shown in the following figure.



Результат тестирования реального усилителя
Real amplifier test result

Идея мультитона представлена здесь:
The idea behind a multitone is presented here:

[quote]

<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=34487&page=9>
<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=34487&p=955163&viewfull=1#post955163>

Костя Мусатов

Предлагаю ввести единую практику по измерениям реального разрешения усилителя. Поскольку музыкальный сигнал многочастотный и сложный, то измерения IMD и THD часто мало говорят о том, что потом реально услышим. Существует достаточно понятный и повторяемый метод многочастотного сигнала. Частоты не должны образовывать кратные блоки, что бы не маскировались гармоники, по крайней мере нижние. Аналогично должно быть и с кросс частотами. Предлагаю ввести ряд из 10 частот от 20Гц до 20кГц:

I propose to introduce a unified practice for measuring the real resolution of an amplifier. Since the music signal is multifrequency and complex, IMD and THD measurements often tell little about what we will actually hear later. There is a fairly straightforward and repeatable method for a multi-frequency signal. Frequencies should not form multiple blocks, so that harmonics, at least the lower ones, would not be masked. It should be the same with cross frequencies. I propose to introduce a range of 10 frequencies from 20Hz to 20kHz:

20
43.1
92.8
200
431
928
2000
4909
9283
20000

Теперь о методике измерения. Делать разные уровни на разных частотах, в соответствии со статистикой может и хорошо, но весьма сложно. Потому предлагаю использовать равные уровни сигналов. Я использую такой метод последние 3 года и не нашел явного ухода результатов от практического прослушивания. Если вы используете симулятор, то вместо генератора поставьте такой объект:

Now about the measurement technique. Making different levels at different frequencies, according to statistics, may be good, but very difficult. Therefore, I suggest using equal signal levels. I have been using this method for the last 3 years and have not found a clear departure from practical listening results. If you are using a simulator, then instead of a generator, put the following object:

Код:

```
.SUBCKT V10SIN 1 11
+ PARAMS: AMP=1
V1 1 2 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 20)
V2 2 3 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 43.1)
V3 3 4 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 92.8)
V4 4 5 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 200)
V5 5 6 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 431)
V6 6 7 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 928)
V7 7 8 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 2000)
V8 8 9 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 4909)
V9 9 10 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 9283)
V10 10 11 SINE(0 {AMP/3.16227766016} 20000)
.ENDS
```

Обратите внимание, что коэффициент амплитуды не 10, а корень из 10. В этом случае мы получаем мощность на выходе усилителя на комплексном сигнале эквивалентную, для случая моночастотного сигнала.

Please note that the crest factor is not 10, but the root of 10. In this case, we get the power at the output of the amplifier on a complex signal, which is equivalent for the case of a mono frequency signal.

Если вы используете Спектралаб или Спектраплюс, то там уровень пиковый и коэффициент мощности окажется -10дБ, если сравнивать с моносинусоидальным сигналом.

If you use Spectralab or Spectraplus, then there is a peak level and the power factor will be -10dB when compared with a monosine signal.

Теперь как интерпретировать результат.

Примерный вид сигнала и его спектр есть на картинках.

В спектре проводим среднестатистическую линию по пикам внесигнальных составляющих. Положение ее на СЧ в районе 1кГц берем как базовый уровень помех, а по пикам сигналов берем уровень сигнала. Так определяем реальное разрешение усилителя. Отдельно можно говорить о разрешении на НЧ, СЧ и ВЧ.

Now how to interpret the result. The approximate form of the signal and its spectrum are shown in the pictures. In the spectrum, we draw an average line along the peaks of the off-signal components. Its position on the midrange in the region of 1 kHz is taken as the base noise level, and the signal level is taken from signal peaks. This is how we determine the real resolution of the amplifier. Separately, we can talk about the resolution at LF, MF and HF.

В представленном примере разрешение составило 35 дБ. Между прочим уровень гармоник или интермод для сигнала той же энергии составляет уже около 65 дБ.

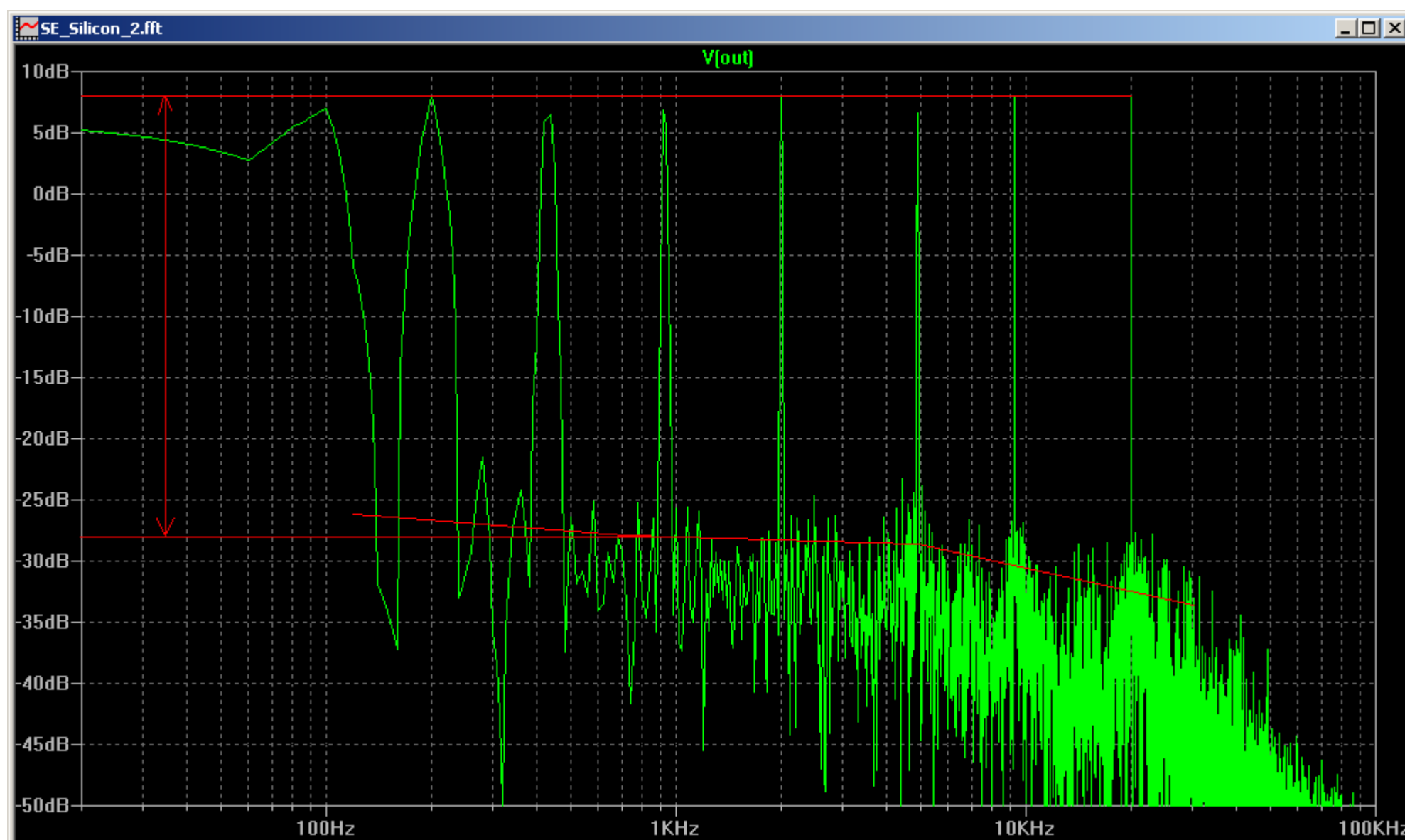
In the example shown, the resolution is 35 dB. By the way, the level of harmonics or intermod for a signal of the same energy is already about 65 dB.

По моим наблюдениям такой метод очень хорошо коррелирует с результатами прослушивания.

In my experience, this method correlates very well with listening results.

Отдельное замечание. У усилителей с мягким клиппингом реальное разрешение на высоких мощностях оказывается часто даже лучше, чем у высоколинейных усилителей только из-за жесткого клиппинга и появления на нем большой шумовой подставки.

Separate remark. Amplifiers with soft clipping often have real resolution at high powers even better than high-linear amplifiers, only because of the hard clipping and the appearance of a large noise floor on it.



[quote]

продолжим ...

continue ...

Заменяем конденсатор C4 на 1 нФ и снова проведем тест, рис. 4

Replace capacitor C4 with 1 nF and test again, fig. 4

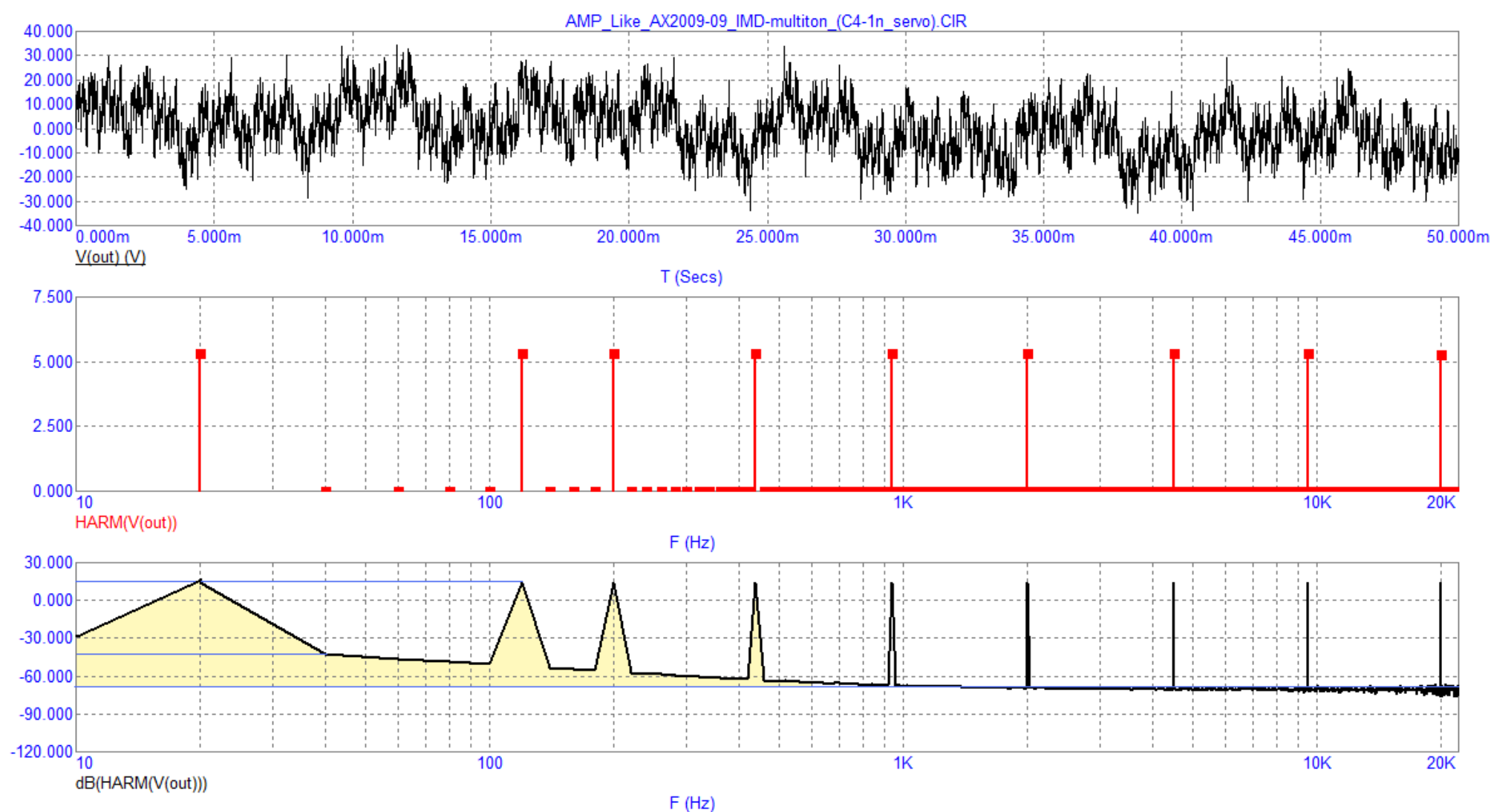


Fig. 4

Из рисунка 4 видно что в области НЧ все осталось практически без изменений, а в области ВЧ шум поднялся до минус 70 дБ. Отключим систему сервоконтроля и снова проведем тест, рис. 5

Figure 4 shows that in the low-frequency region everything remained practically unchanged, and in the high-frequency region the noise rose to minus 70 dB. Turn off the servo control system and run the test again, Fig. 5

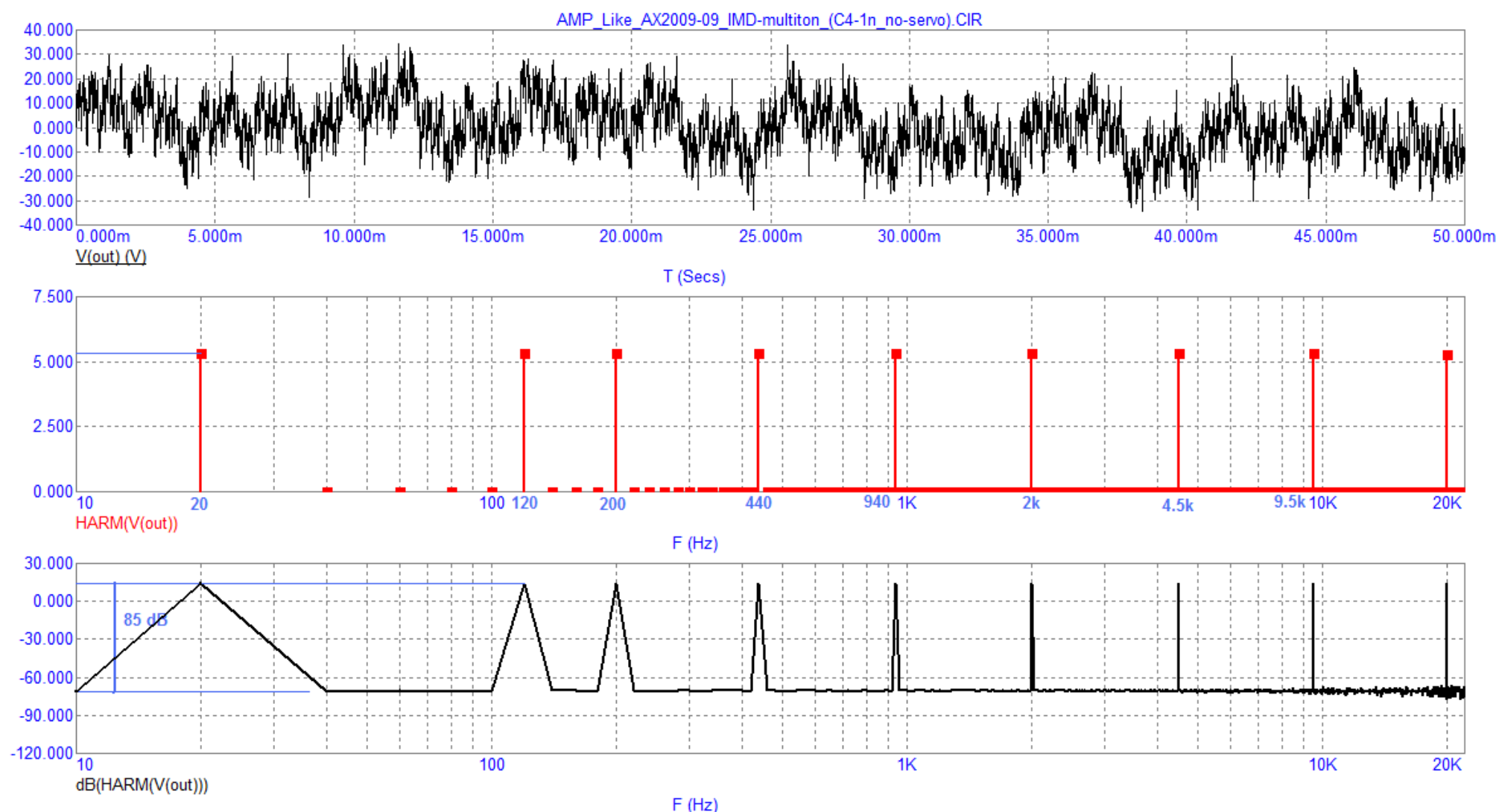


Fig. 5 (на среднем графике указаны частоты мультитона) (the middle graph shows the multitone frequencies)

Из рисунка 5 видно что уровень шума выровнялся по всему диапазону (динамический диапазон около 100 дБ), без сервоконтроля подъем шума в области низких частот отсутствует.

Для сравнения проверим работу усилителя без сервоконтроля методом Баксандалла, рис. 6

Figure 5 shows that the noise level has leveled off over the entire range (dynamic range is about 100 dB), without servo control, there is no noise rise in the low frequency region.

For comparison, let's check the operation of the amplifier without servo control by the Baksandall method, Fig. 6

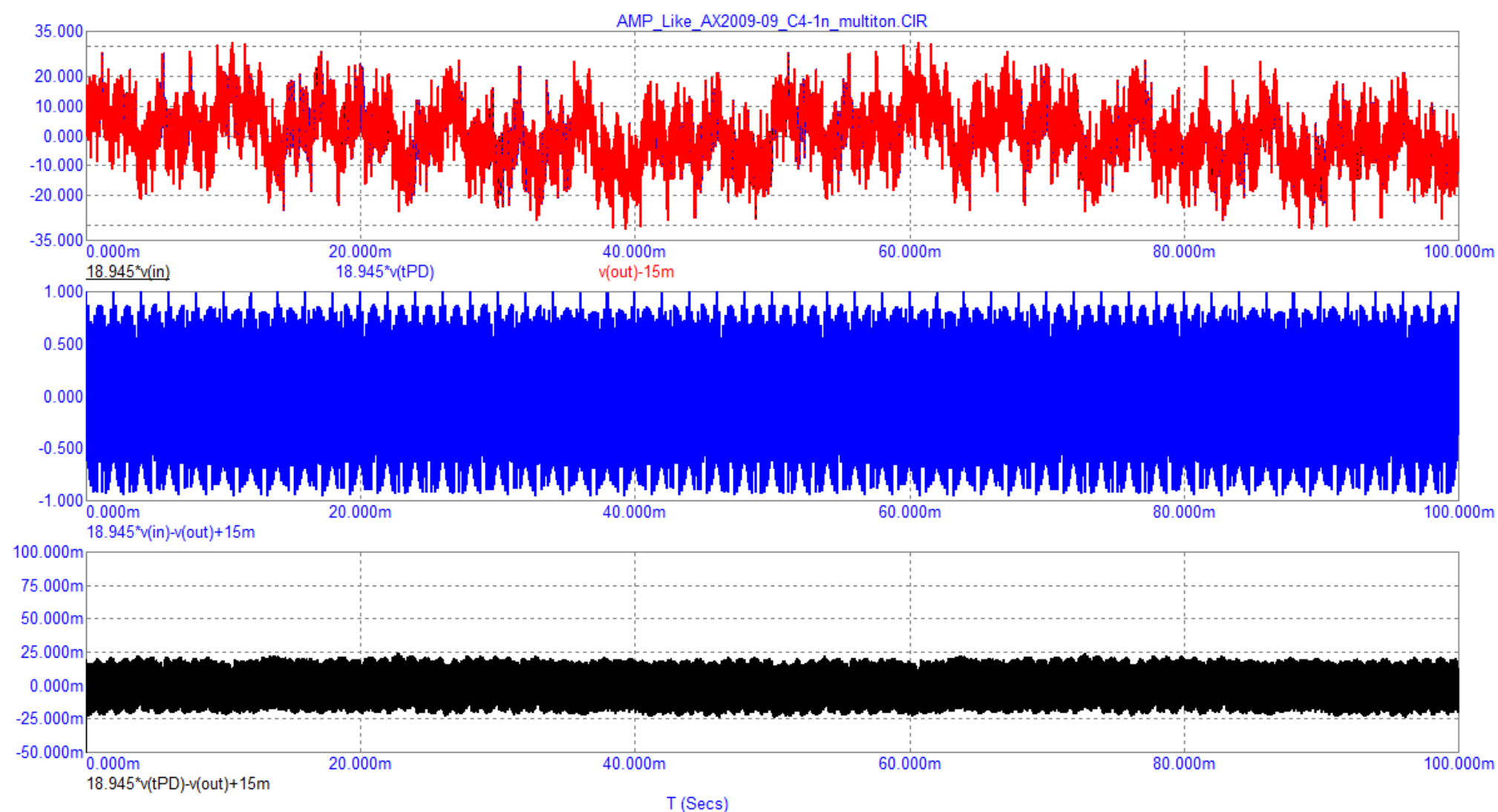


Fig. 6

Красным показан выходной сигнал, синим — векторная погрешность. Нижний график отображает все виды искажений уровень которых достигает 20 мВ(пик) или 0,067% от уровня 30 В(пик).

Включим систему сервоконтроля и повторим тест, рис. 7

The output signal is shown in red, the vector error is shown in blue. The bottom graph displays all types of distortion that reach 20mV peak or 0.067% of 30V peak.

Turn on the servo control system and repeat the test, fig. 7

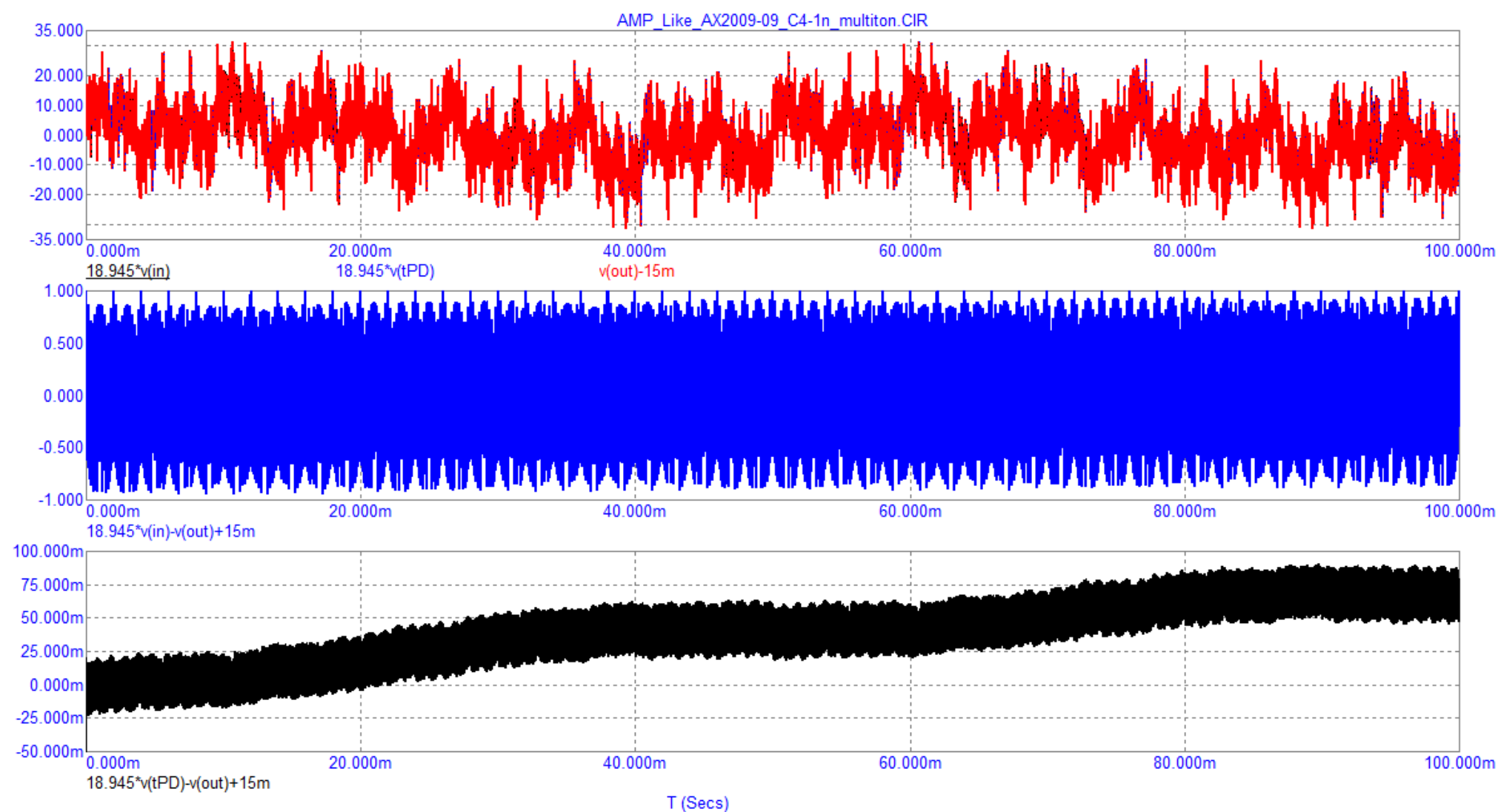


Fig. 7

Из нижнего графика следует что к концу теста уровень постоянной составляющей на выходе усилителя стал равным 75 мВ. Очевидно что и на реальном музыкальном сигнале не исключена низкочастотная болтанка выходного напряжения которая может отражаться в виде нарушения огибающих формант сигнала ведущих к нарушению тембровой окраски.

From the bottom graph it follows that by the end of the test, the level of the constant component at the amplifier output became equal to 75 mV. Obviously, a low-frequency bump in the output voltage is not excluded on a real music signal, which can be reflected in the form of a violation of the envelope of the signal formants leading to a violation of the timbre color.

Однако попробуем разобраться, в чем же причина роста интермодуляционных искажений в области НЧ. Для этого снимем диаграмму Бode с сигналом сервоконтроля S, рис. 8

However, let's try to figure out what is the reason for the growth of intermodulation distortion in the low-frequency region. To do this, remove the Bode diagram with the servo control signal S, Fig. 8

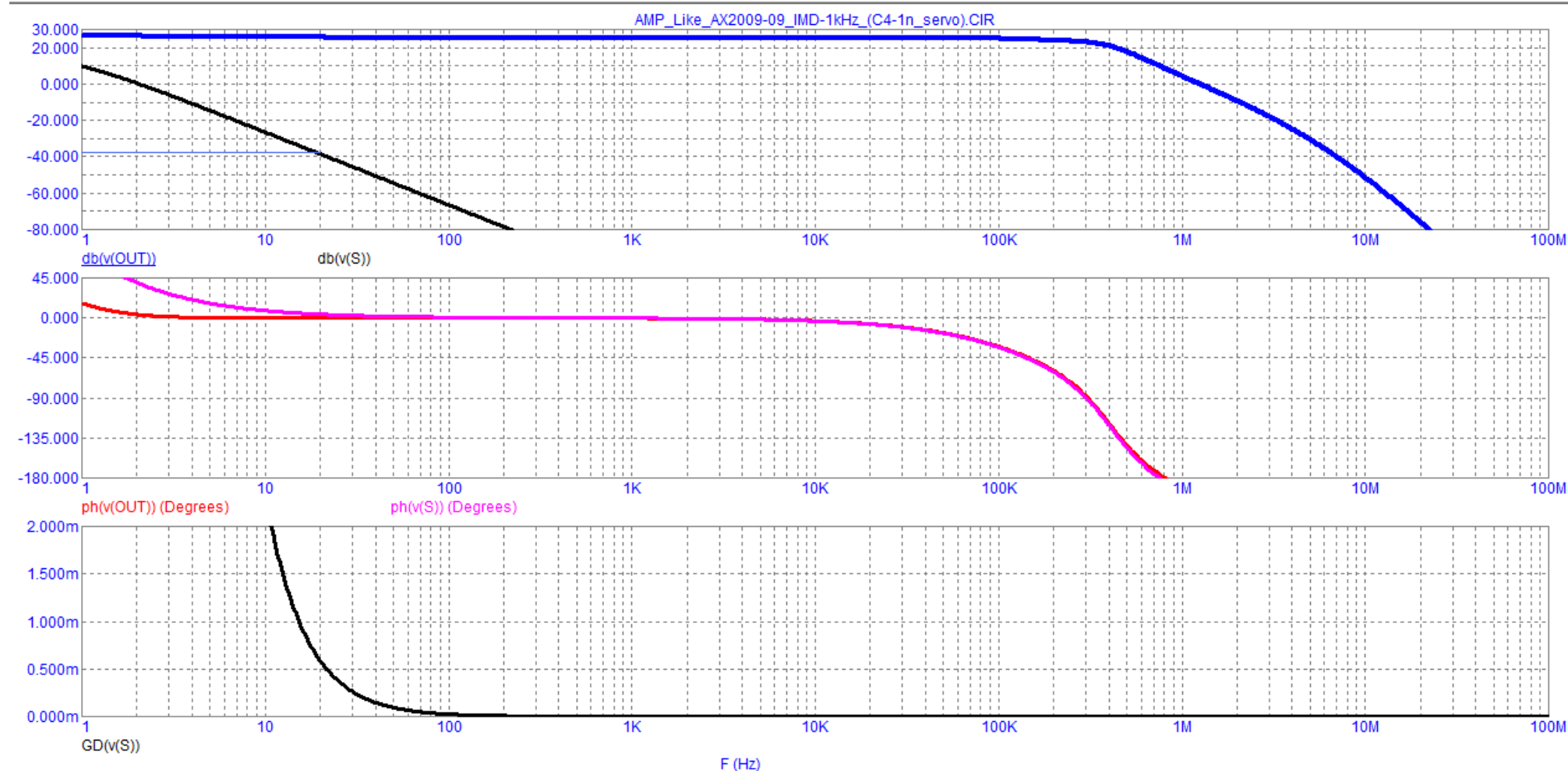


Fig. 8

Усилитель неинвертирующий. Сигнал сервоконтроля в виде ООС поступает на инвертирующий вход ОУ. На частоте 20 Гц уровень сигнала сервоконтроля достигает -38 дБ (ослаблен примерно в 100 раз).

Подадим на вход сигнал частотой 20 Гц и посмотрим как он усиливается, рис. 9

Non-inverting amplifier. The servo control signal in the form of NFB is fed to the inverting input of the op-amp. At a frequency of 20 Hz, the level of the servo control signal reaches -38 dB (attenuated by about 100 times).

Let's apply a signal with a frequency of 20 Hz to the input and see how it is amplified, Fig. 9

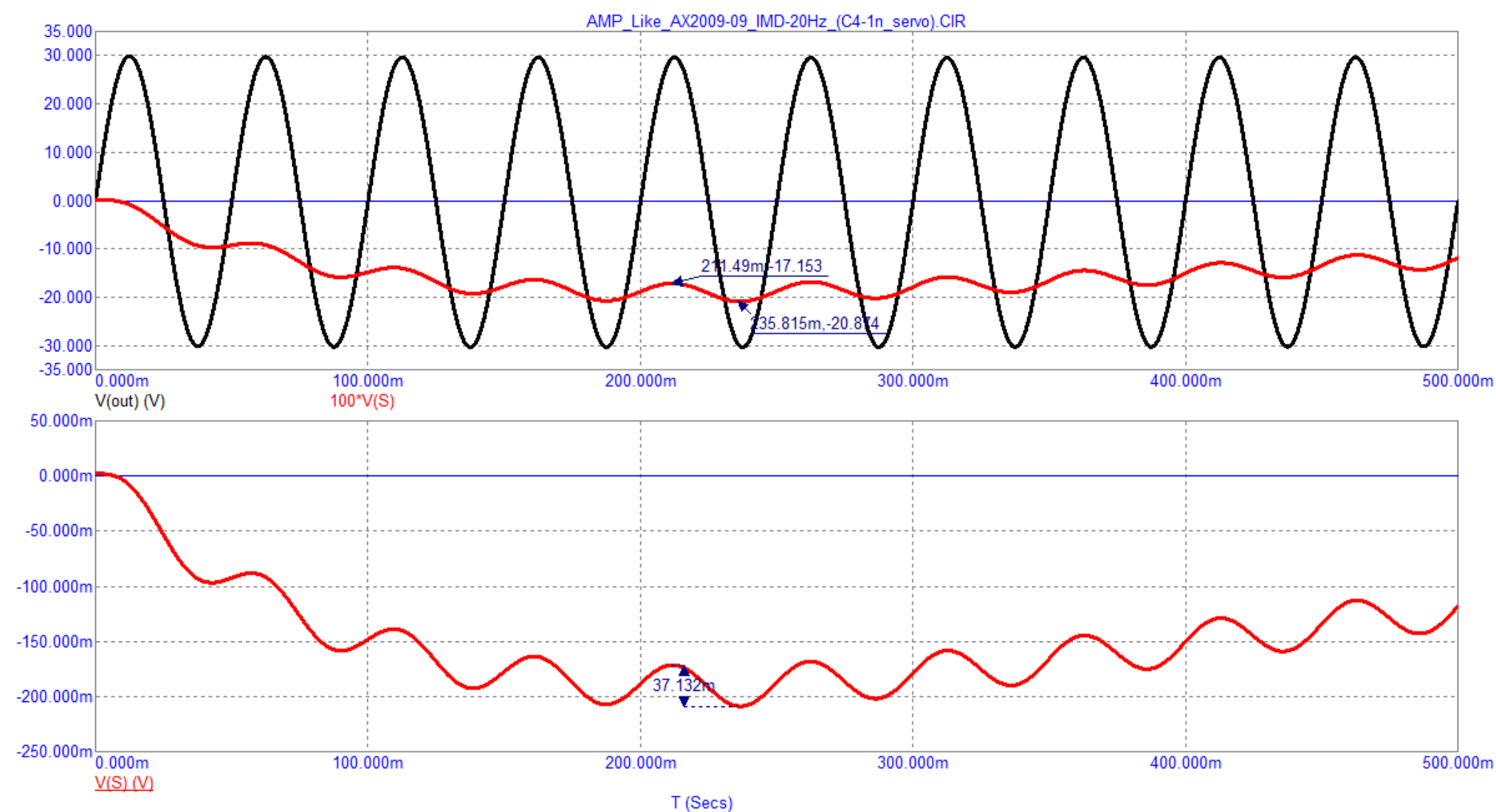


Fig. 9

Входной сигнал имеет амплитуду сигнала 1,6 В(пик) или 3,2 В от пика до пика. Мы видим что амплитуда сигнала сервоконтроля от пика до пика составляет 37 мВ. Причем через 200 мс постоянная составляющая этого сигнала достигает почти минус 200 мВ. Измерим время переходного процесса, рис. 10

The input signal has a signal amplitude of 1.6V (peak) or 3.2V peak-to-peak. We can see that the peak-to-peak servo signal amplitude is 37mV. Moreover, after 200 ms, the constant component of this signal reaches almost minus 200

mV. Let's measure the time of the transient process, fig. 10

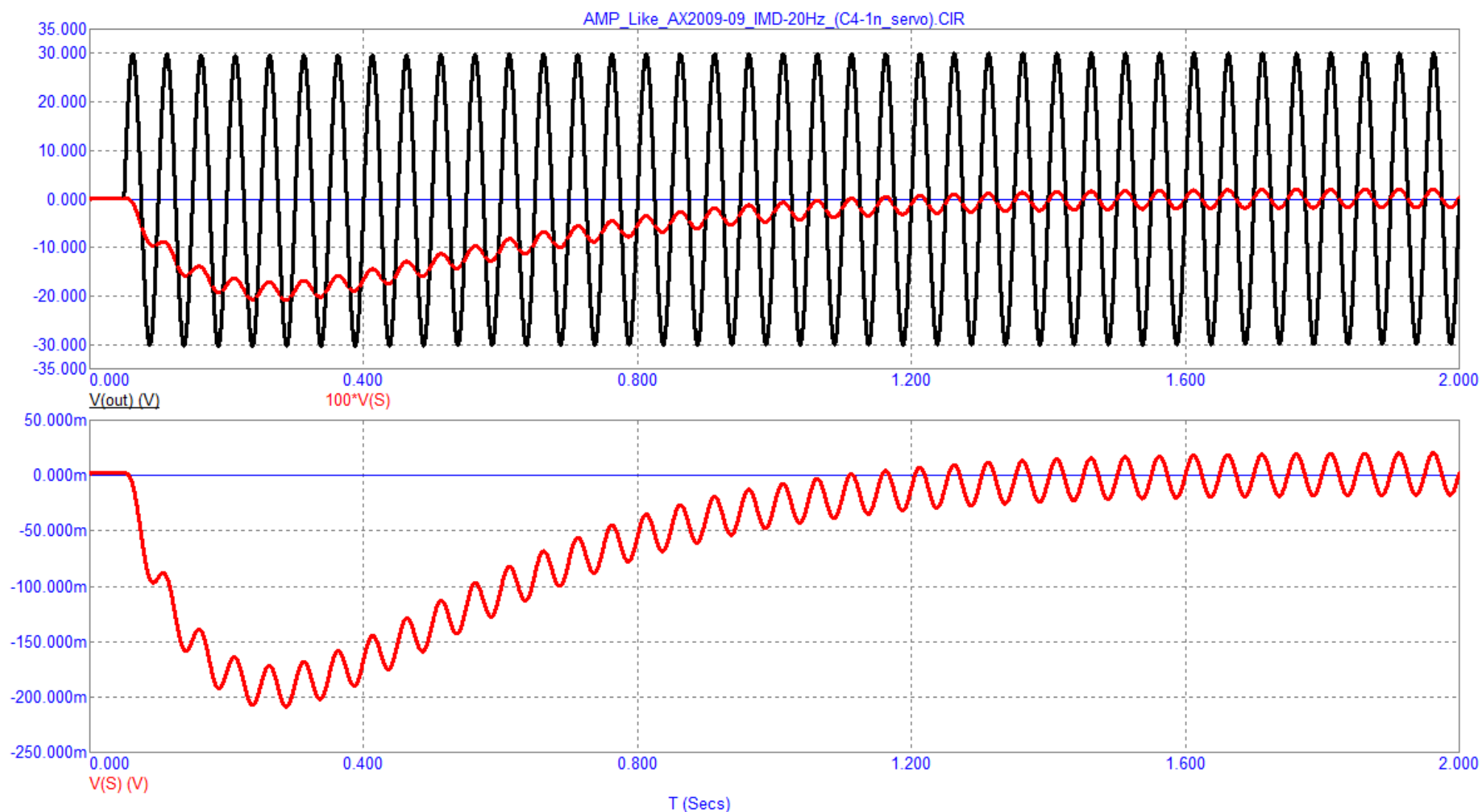


Fig. 10

Время выхода на установившийся режим занимает около 1,5 с. И хотя в реальных звуковых сигналах очень мала вероятность наличия сигналов такой частоты, тем не менее не исключена девиация сигнала и огибающей его формант под влиянием низкочастотных сигналов.

The time to reach the steady state takes about 1.5 s. And although in real audio signals the probability of the presence of signals of such a frequency is very small, nevertheless, the deviation of the signal and its formant envelope under the influence of low-frequency signals is not excluded.

тест провел
test conducted

Александр Петров
Alexander Petrov

примечание. В мультитоне я немного изменил несколько частот для адаптации мультитона для Микрокапа. Частоты мультитона использованного в тесте указаны на рис. 5

note. In multitone, I slightly changed several frequencies to adapt the multitone for Microcap. The frequencies of the multitone used in the test are shown in Fig. 5