

Групповое время задержки прохождения сигнала Group delay time

Многие коллеги утверждают что для того чтобы иметь представление об усилителе вполне достаточно снять такие его характеристики как АЧХ и ФЧХ (диаграмму Боде). Рассмотрим это на примере ранее рассмотренного усилителя, рис. 1

Many colleagues argue that in order to have an idea about the amplifier, it is quite enough to remove such characteristics as the frequency response and phase response (Bode diagram). Let's consider this using the example of the previously considered amplifier, Fig. 1

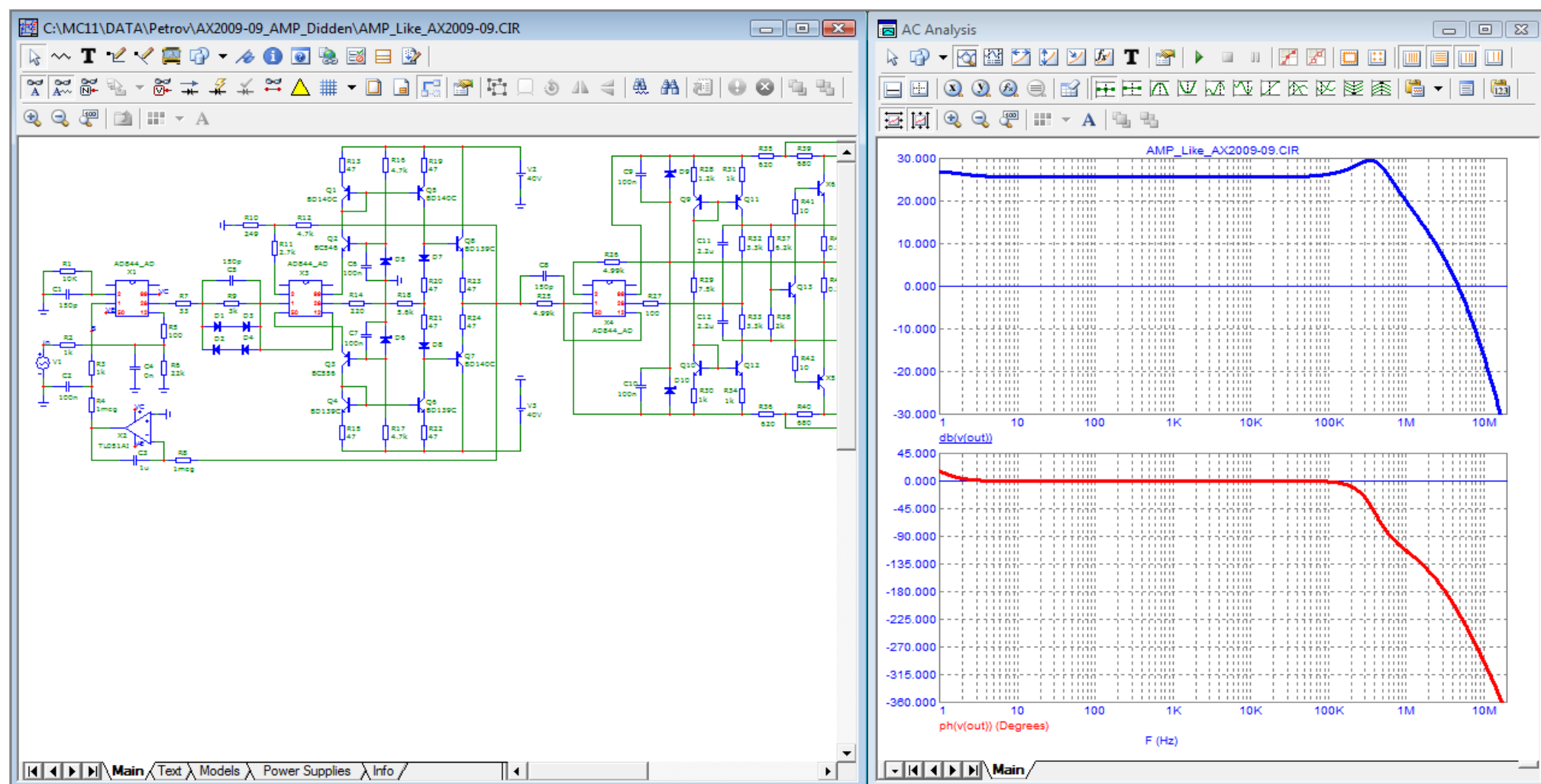


Fig. 1

Что можно сказать о таком усилителе? Усилитель постоянного тока с линейной АЧХ почти до 100 кГц, выше 100 кГц имеет место подъем АЧХ с максимумом на частоте 350 кГц. Но это всего лишь малосигнальные параметры ничего не говорящие о поведении усилителя на реальном сигнале.

Еще раз снимем характеристику, но на этот раз с Group Delay, рис. 2

What about such an amplifier? A DC amplifier with a linear frequency response up to almost 100 kHz, above 100 kHz there is a rise in the frequency response with a maximum at a frequency of 350 kHz. But these are just small-signal parameters that say nothing about the behavior of the amplifier on a real signal.

Let's remove the characteristic again, but this time with Group Delay, fig. 2

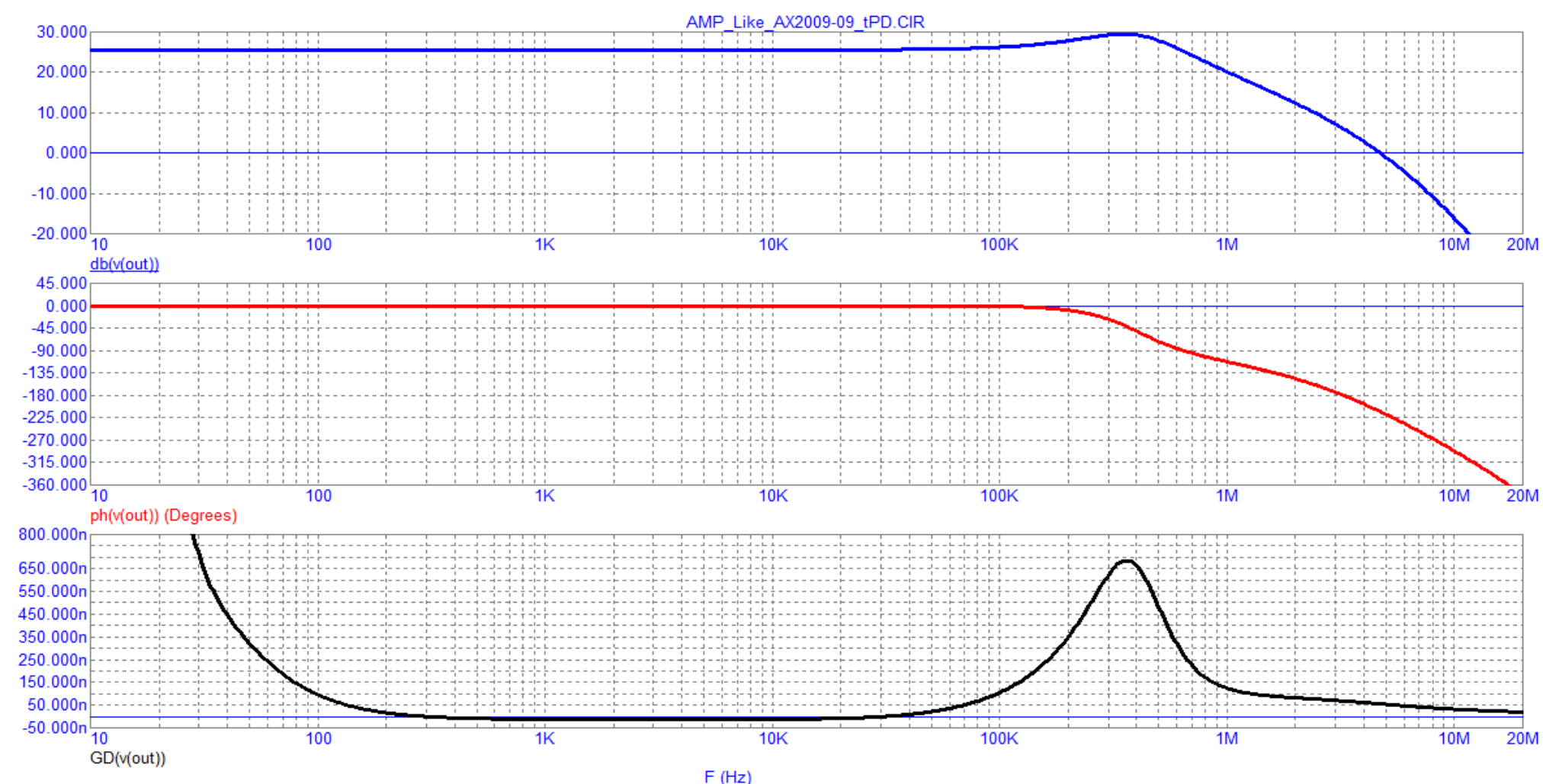


Fig. 2

Как видим на частоте 350 кГц имеет место подъем АЧХ до 5 дБ и Group Delay до 700 нс

Посмотрим более внимательно поведение Group Delay в звуковом диапазоне, рис. 3
As you can see, at a frequency of 350 kHz, there is a rise in the frequency response up to 5 dB and Group Delay up to 700 ns.
Let's take a closer look at the behavior of Group Delay in the audio range, Fig. 3

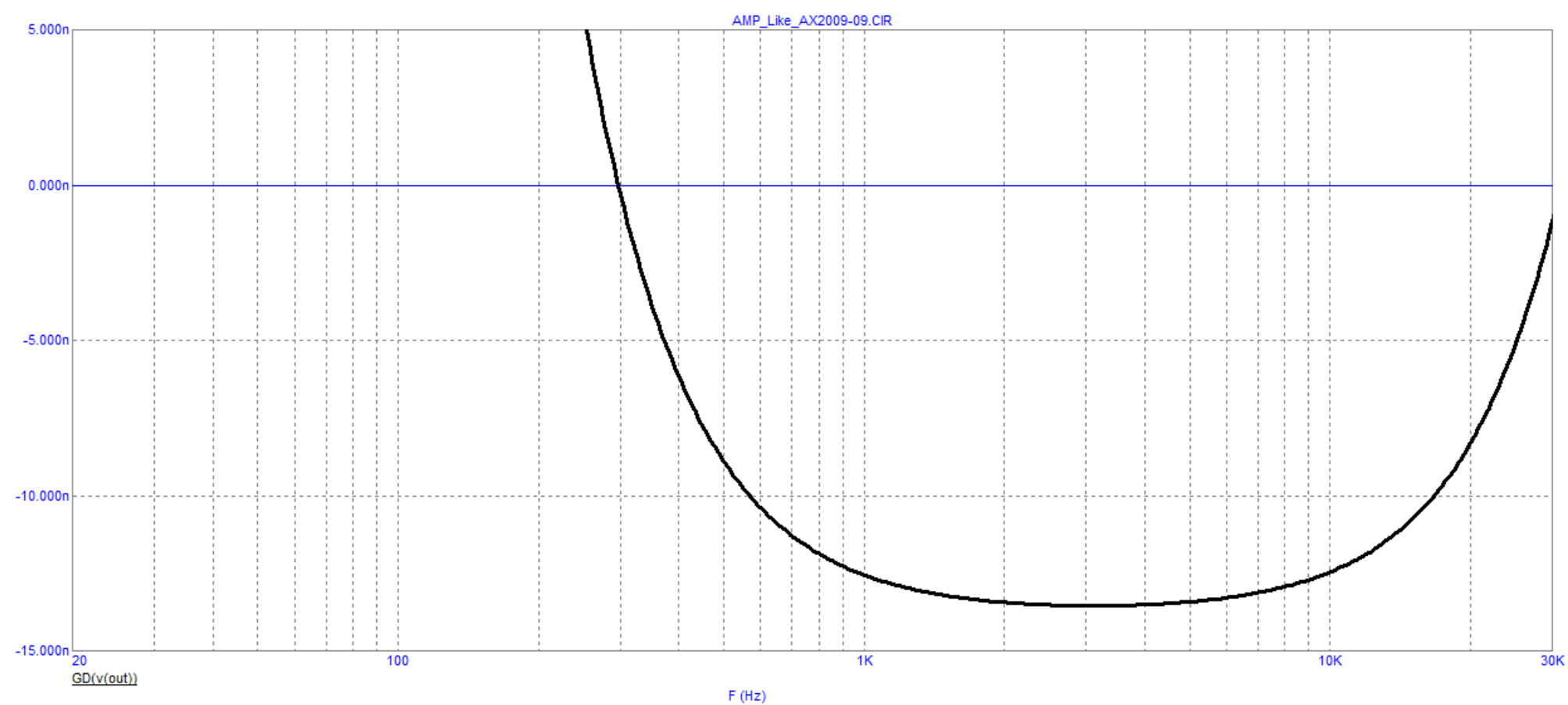


Fig. 3

В большей части звукового диапазона Group Delay имеет отрицательное значение, максимум которого примерно на частоте 3 кГц — область наибольшей чувствительности слуха. Group Delay переходит в положительную область на частотах ниже 300 Гц и выше 33 кГц.

Посмотрим усиление первого периода сигнала частотой 33 кГц, рис. 4

In most of the audio range, Group Delay has a negative value, the maximum of which at about 3 kHz is the area of greatest hearing sensitivity. Group Delay goes positive at frequencies below 300 Hz and above 33 kHz.

Let's see the amplification of the first period of the signal with a frequency of 33 kHz, Fig. 4

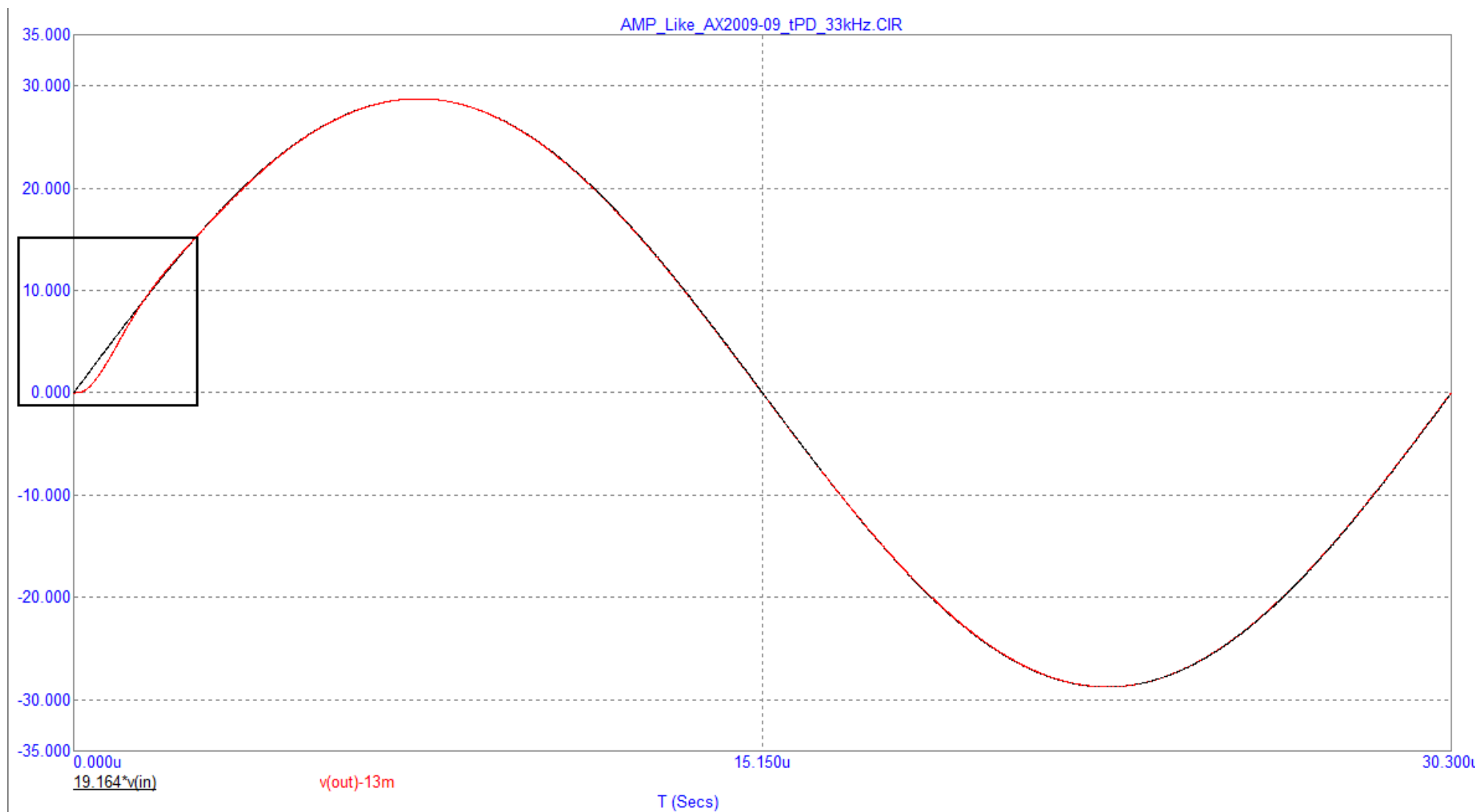


Fig. 4

Исследуем более внимательно начало периода, рис. 5
Let us examine more closely the beginning of the period, Fig. five



Fig. 5

Несмотря на отрицательное Group Delay начало сигнала существенно задержано, затем ближе к 1,5 мкс происходит пересечение выходного сигнала с входным сигналом умноженным на K_u и далее наступает опережение выходного сигнала. Выход на установившийся режим занимает более 3 мкс.

Из рисунка 2 мы знаем что АЧХ и Group Delay имеют подъем на частоте 350 кГц, что говорит о резонансе на этой частоте. Период этой частоты равен 2,86 мкс. Именно с этой частотой мы видим колебательный процесс в начале периода любого сигнала.

Проверим начало усиления сигнала частотой 10 кГц, рис. 6

Despite the negative Group Delay, the beginning of the signal is significantly delayed, then closer to 1.5 μ s, the output signal intersects with the input signal multiplied by K_u , and then the output signal is advanced. It takes more than 3 μ s to reach the steady state.

From Figure 2 we know that the phase response and Group Delay have a rise at 350 kHz, which indicates resonance at this frequency. The period of this frequency is 2.86 μ s. It is with this frequency that we see the oscillatory process at the beginning of the period of any signal.

Let's check the beginning of signal amplification with a frequency of 10 kHz, Fig. 6

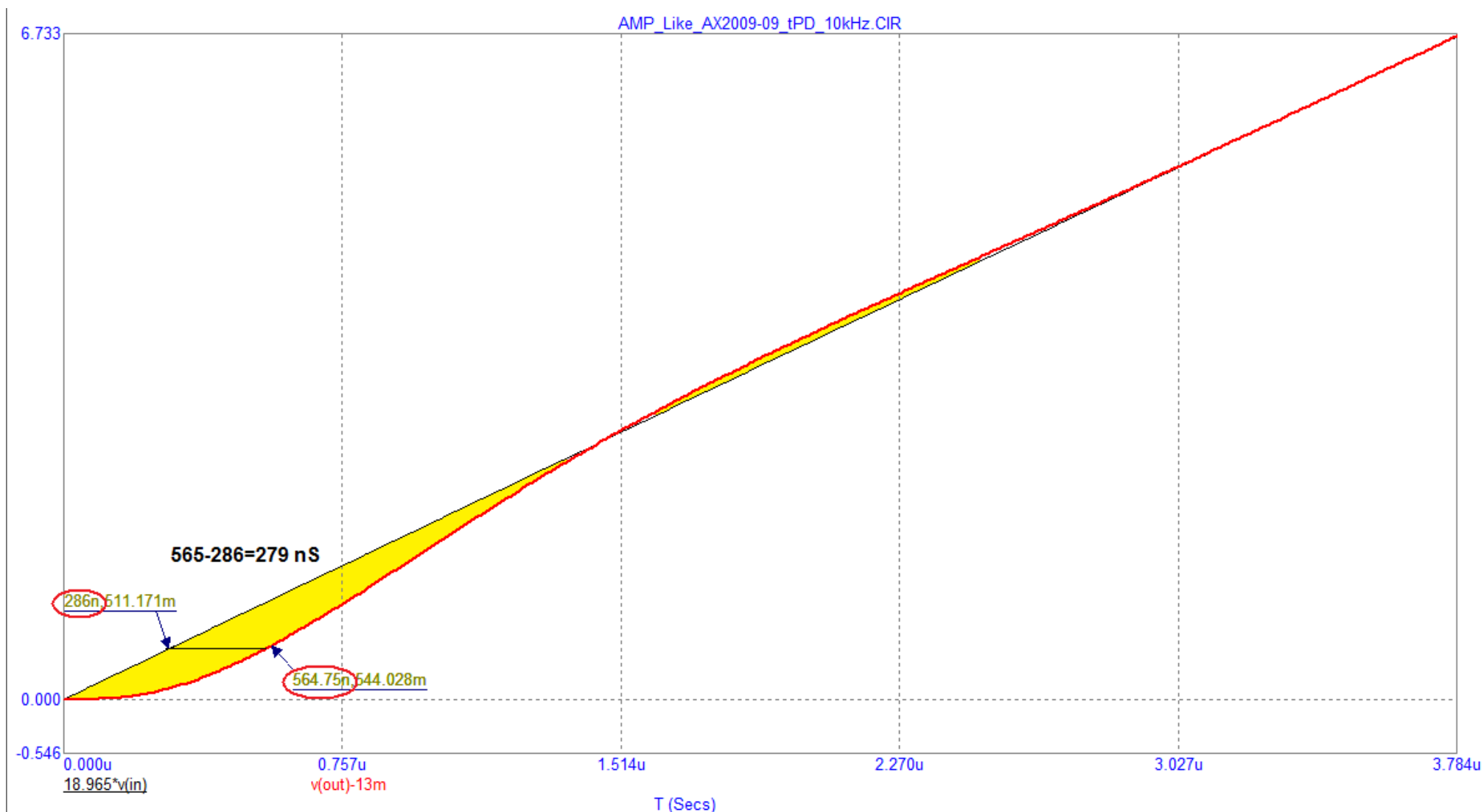


Fig. 6

И на частоте 10 кГц мы наблюдаем тот же колебательный процесс.
And at a frequency of 10 kHz, we observe the same oscillatory process.

Отключим систему сервоконтроля, сбалансируем усилитель и проверим векторную погрешность на музыкальном сигнале, рис. 7. Коэффициент усиления откалиброван на частоте 5 кГц.

Turn off the servo control system, balance the amplifier and check the vector error on the music signal, Fig. 7. The gain is calibrated at 5 kHz.

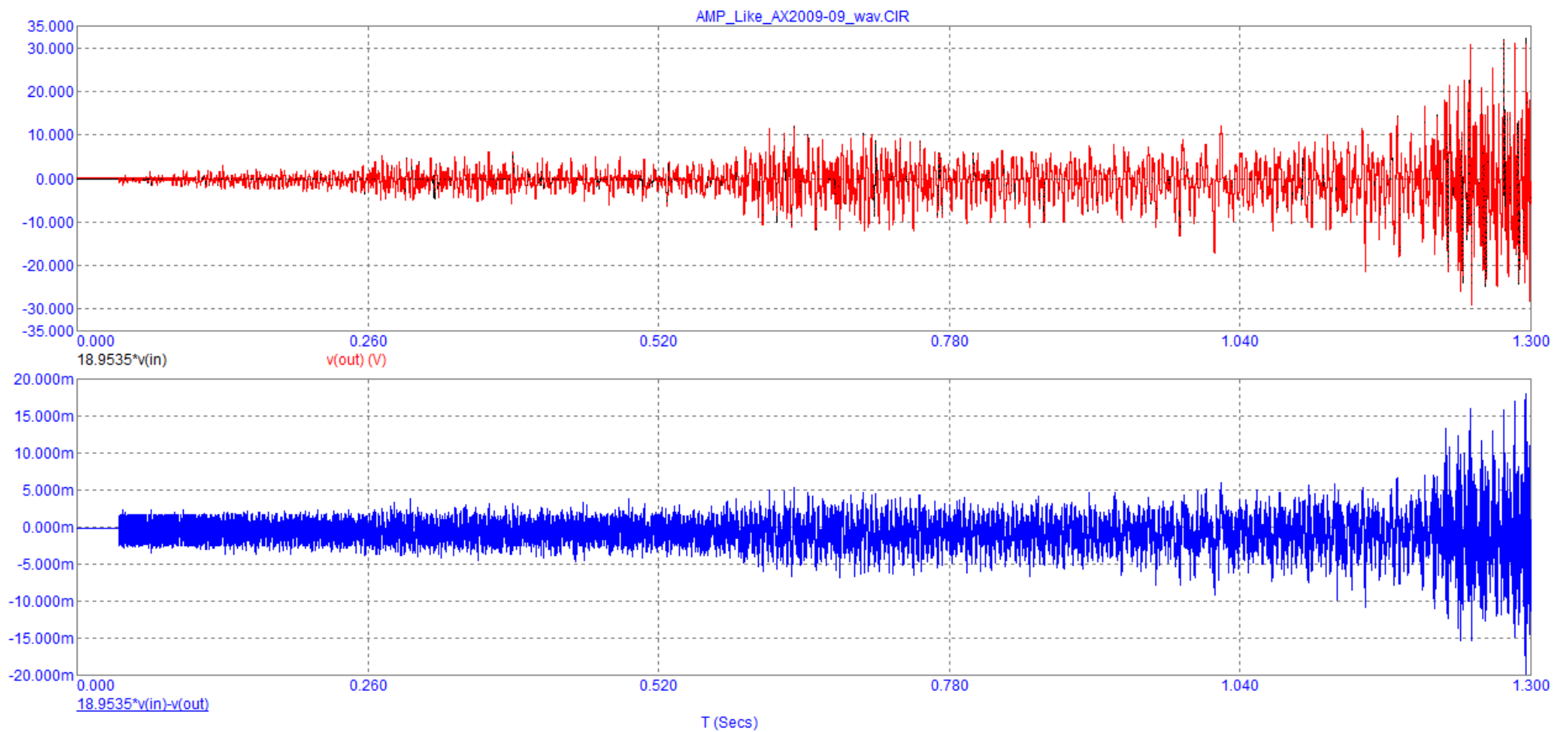


Fig. 7

Как видно из теста амплитуда векторной погрешности к концу трека достигает 15...20 мВ при амплитуде выходного напряжения достигающей 32,5 В(пик). Если выразить векторную погрешность в процентах, то она составила примерно 0,06%.

As can be seen from the test, the amplitude of the vector error at the end of the track reaches 15 ... 20 mV with the amplitude of the output voltage reaching 32.5 V (peak). If we express the vector error as a percentage, then it was about 0.06%.

Мы провели тест без входного фильтра НЧ. Вернем на место конденсатор 1 нФ, уточним коэффициент усиления на частоте 5 кГц и повторим тест, рис. 8

We ran the test without an input low pass filter. Replace the 1 nF capacitor, refine the gain at 5 kHz and repeat the test, Fig. 8

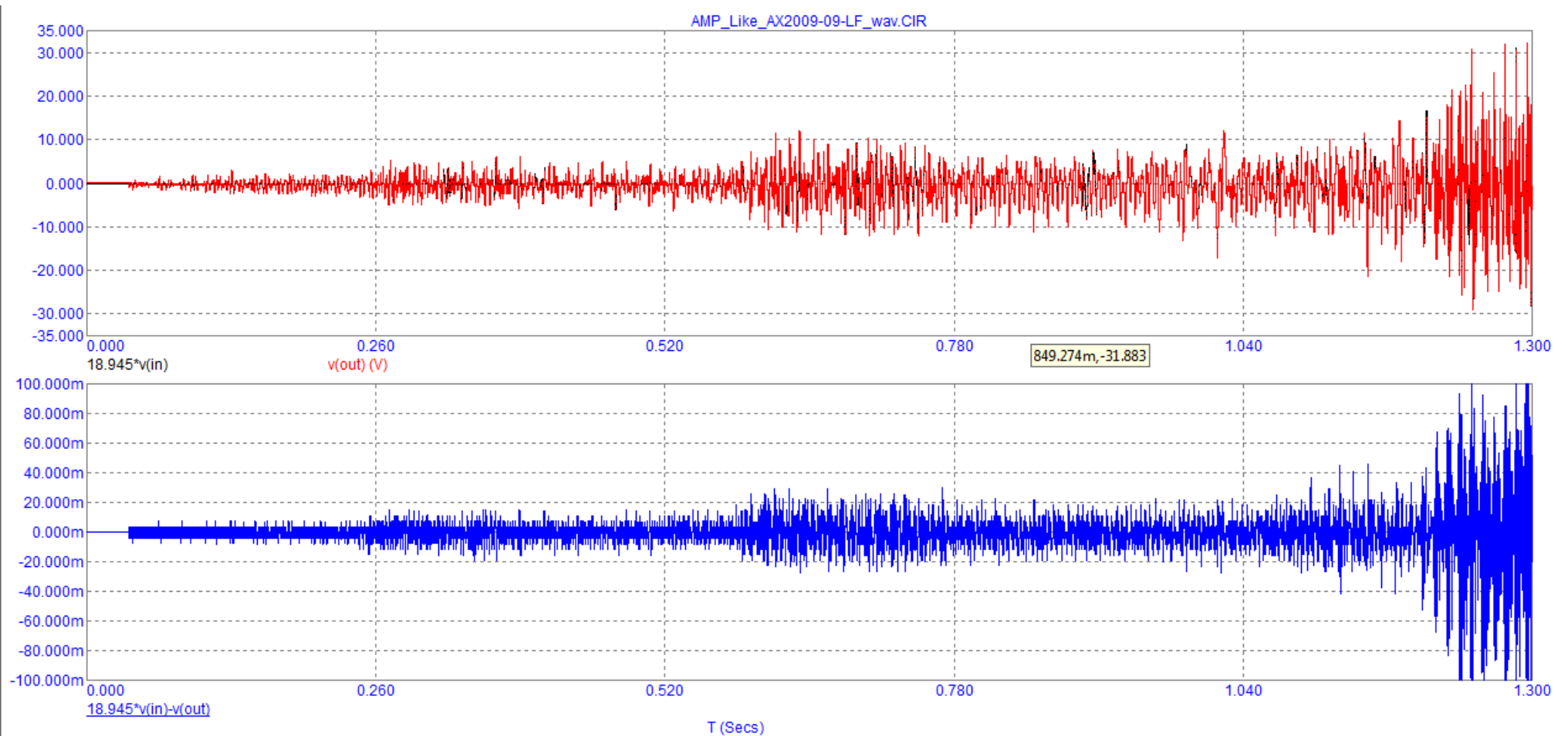


Fig. 8

И хотя на передаче сигнала в звуковом диапазоне включение фильтра НЧ практически не отразилось, тем не менее векторная погрешность выросла более чем в 5 раз!

And although the inclusion of the low-pass filter practically did not affect the signal transmission in the audio range, nevertheless the vector error increased by more than 5 times!

Ну а теперь для сравнения посмотрим аналогичные параметры второго усилителя [1]. Для начала снимем АЧХ, ФЧХ и Group Delay с отключенной системой сервоконтроля, рис. 9

Well, now, for comparison, let's see similar parameters of the second amplifier [1]. First, let's remove the frequency response, phase response and Group Delay with the servo control system turned off, Fig. 9

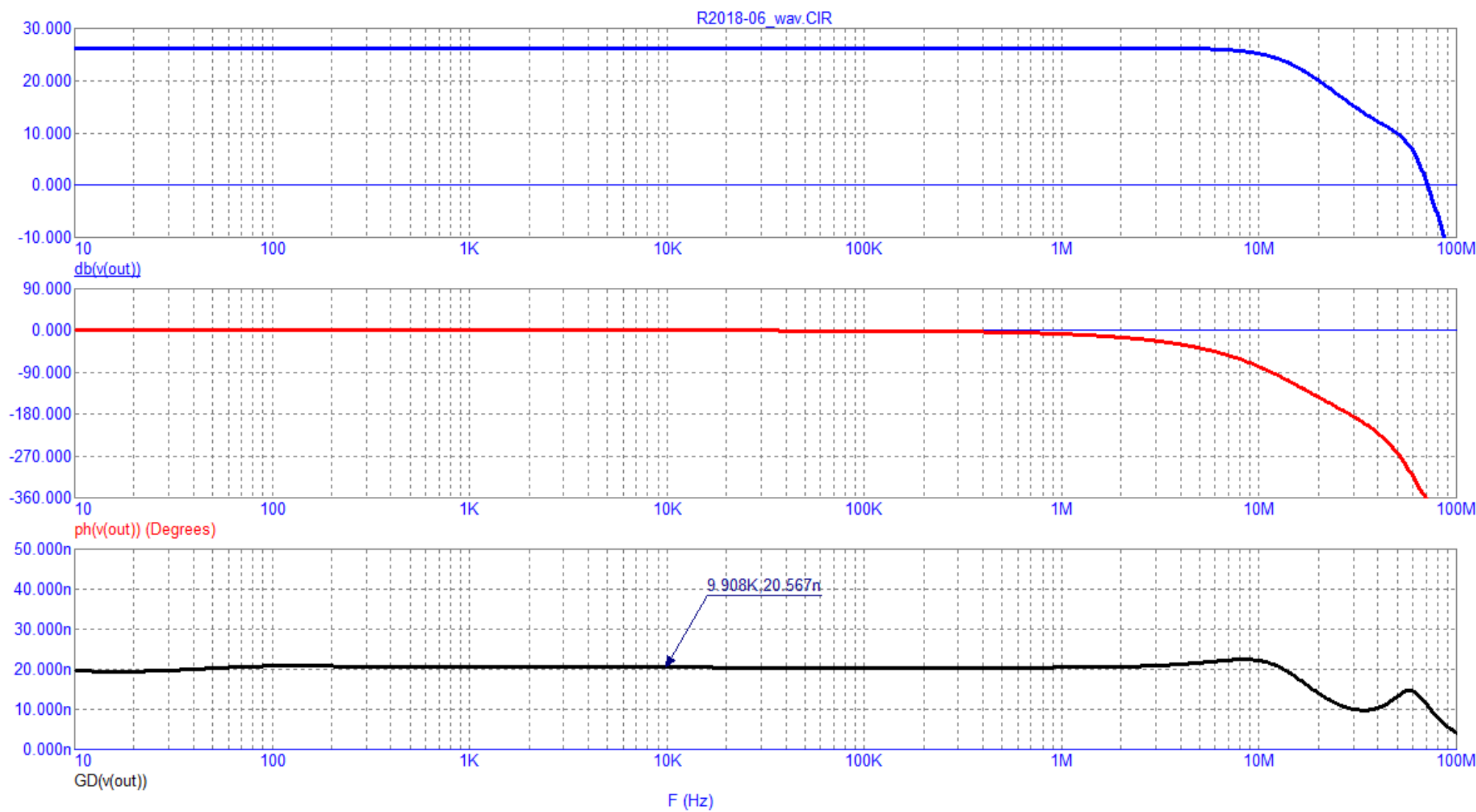


Fig. 9

Здесь мы видим что Group Delay примерно равно 20 нс и оно постоянно во всем звуковом диапазоне и далеко за его пределами. Посмотрим Group Delay в таком же масштабе как и график предыдущего усилителя, рис. 10

Here we see that the Group Delay is about 20 ns and it is constant throughout the entire audio range and far beyond. Let's see the Group Delay on the same scale as the graph of the previous amplifier, Fig. 10

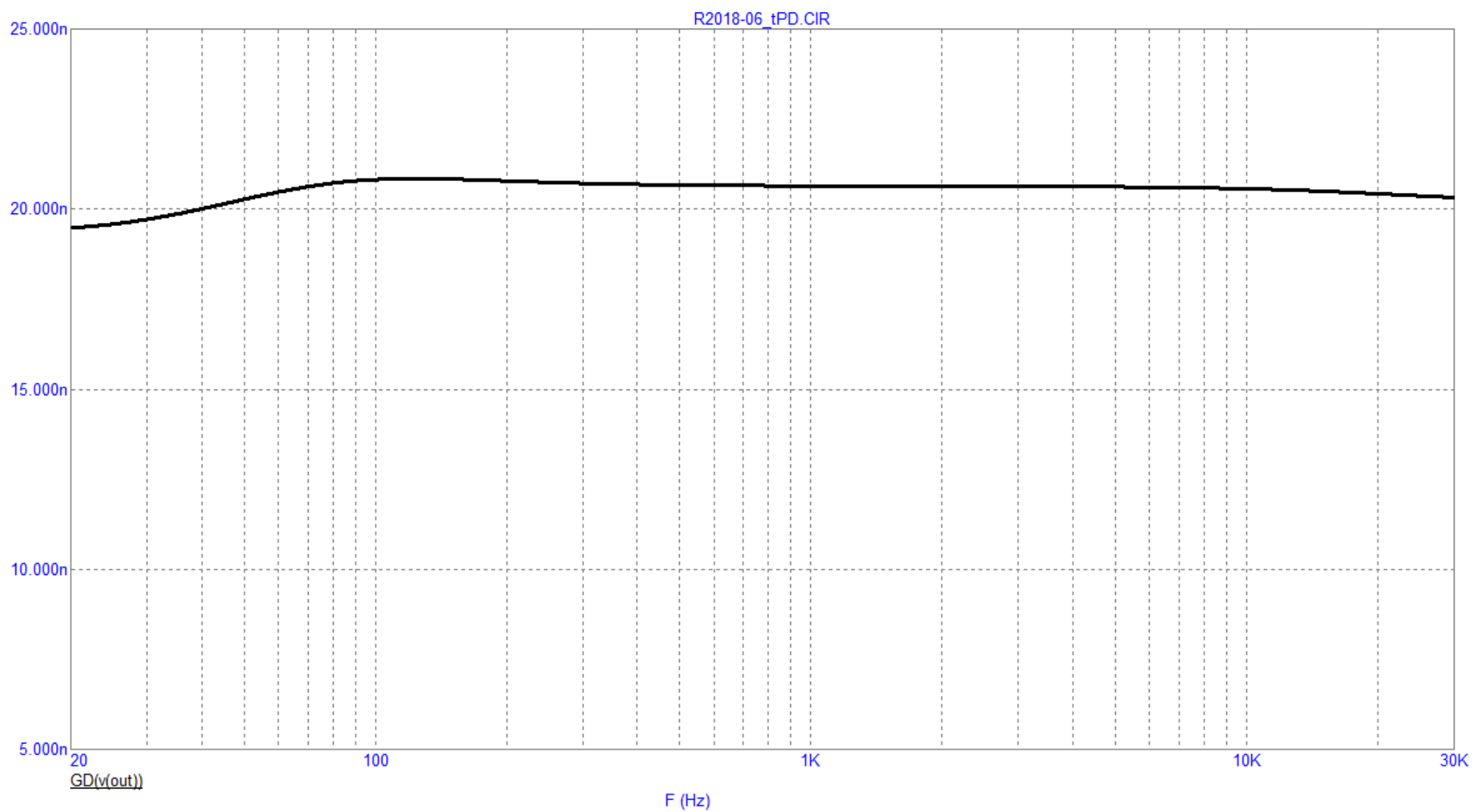


Fig. 10

Проверим начало усиления сигнала частотой 20 кГц, рис. 11

Let's check the beginning of signal amplification with a frequency of 20 kHz, Fig. 11

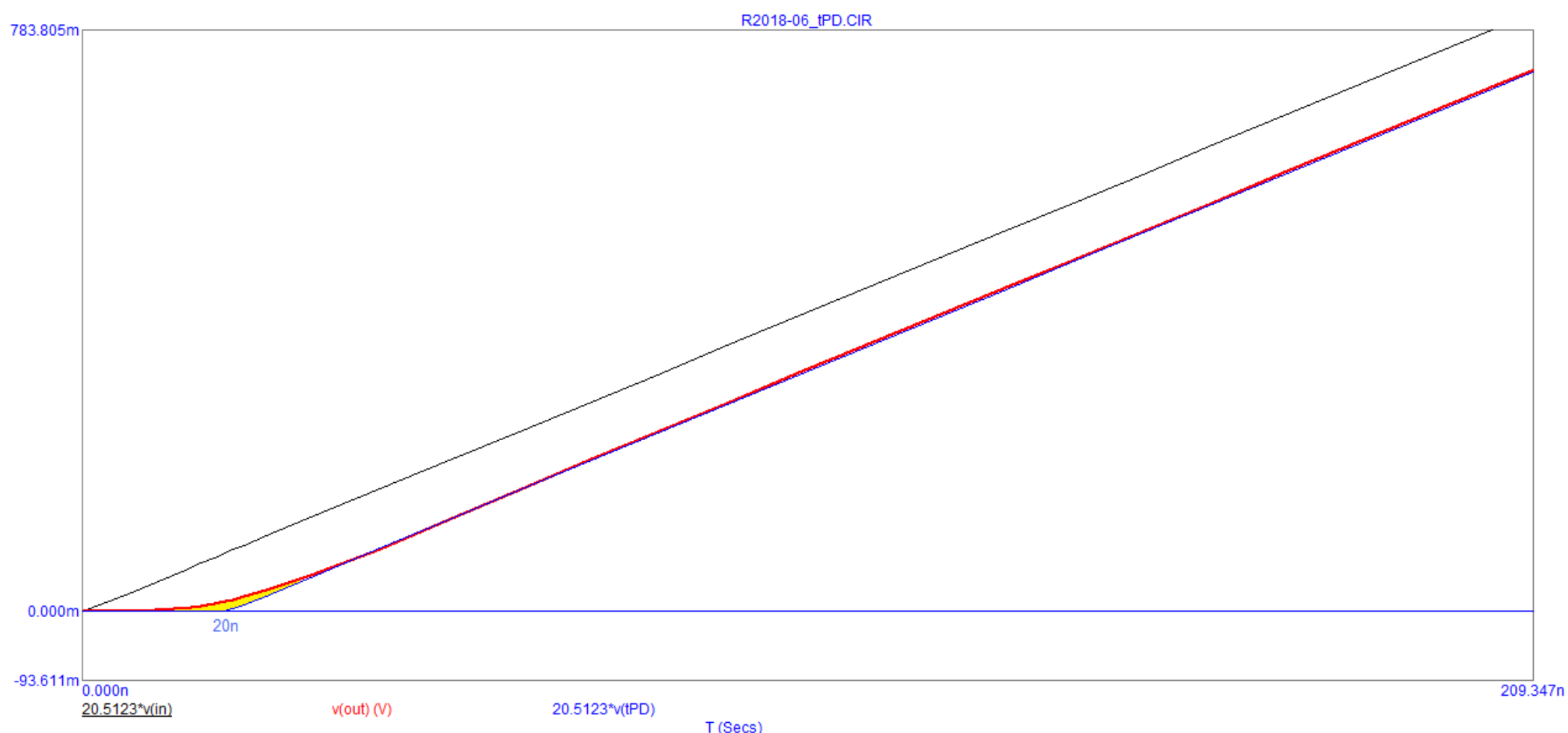


Fig. 11

Как видно из рисунка 10 выходной сигнал уже через 30 нс сливается с идеальным сигналом без каких либо колебательных процессов. Если пренебречь скоростными искажениями (выделено желтым цветом), то можно с уверенностью сказать что сигнал просто задержан во времени на 20 нс. На более низких частотах будет та же задержка, но относительное значение скоростных искажений будет существенно меньше.

Проверим что это дает в тесте на векторные погрешности на реальном музыкальном сигнале, рис. 12

As can be seen from Fig. 10, the output signal merges with the ideal signal after 30 ns without any oscillatory processes. If we neglect the speed distortions (highlighted in yellow), then we can say with confidence that the signal is simply delayed in time by 20 ns. At lower frequencies, there will be the same delay, but the relative value of speed distortion will be significantly less.

Let's check what this gives in the test for vector errors on a real musical signal, Fig. 12

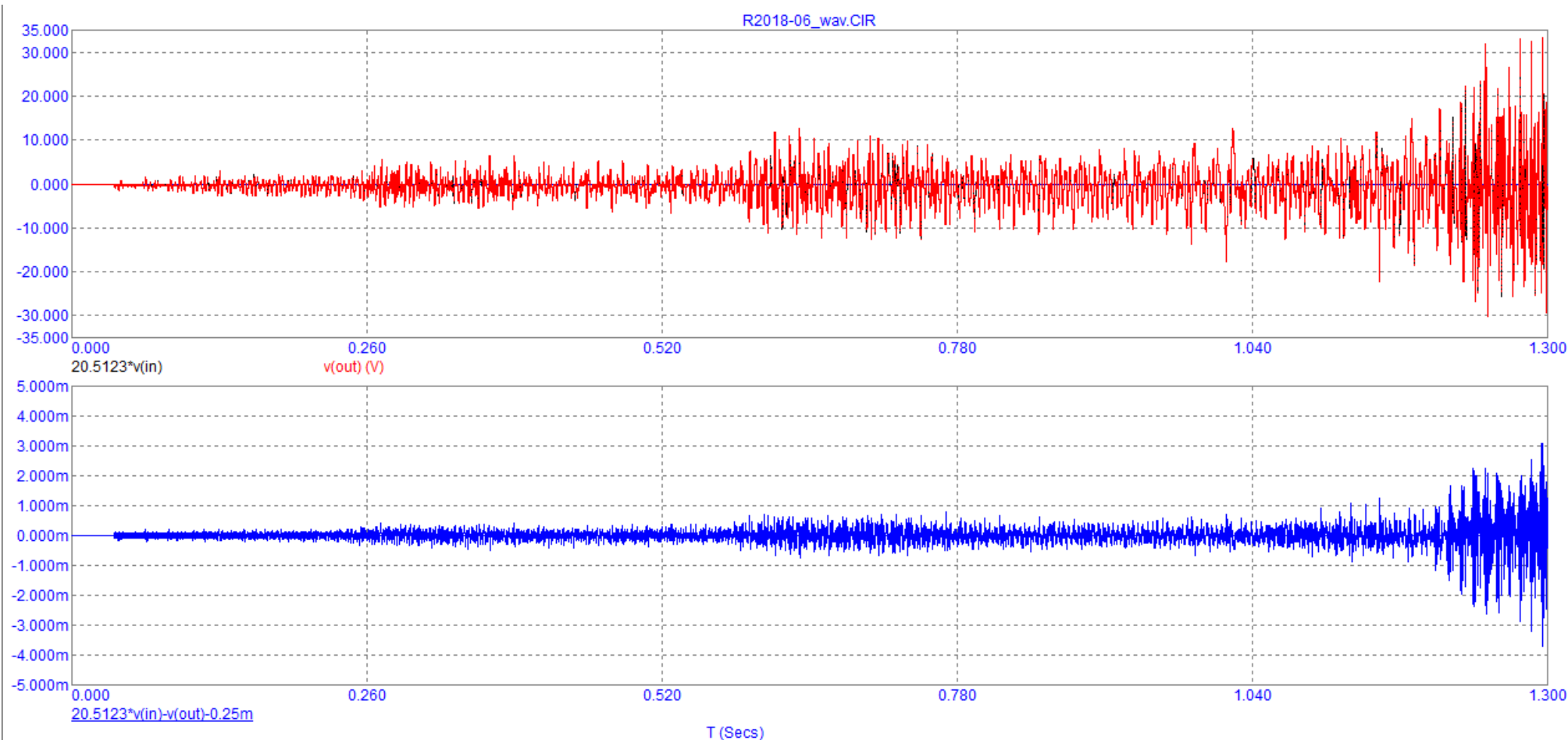


Fig. 12

Как видим векторная погрешность этого усилителя в 6 раз меньше, т. е. равна всего 0,01%.

As you can see, the vector error of this amplifier is 6 times less, that is, it is only 0.01%.

Вывод.

Необходимо снимать характеристику Group Delay не только на одной частоте 20 кГц, но проводить ее анализ во всем звуковом диапазоне и далеко за его пределами. Особое внимание следует уделять поведению Group Delay далеко за пределами звукового диапазона. Чем больше протяженность линейного участка — тем лучше. Оптимальный вариант когда Group Delay имеет плавный спад. Небольшой подъем GD допустим не ранее чем на частоте 1...2 МГц, при этом величина подъема не должна превышать 1,5...2 GD соответствующего горизонтальному участку (или на частотах 5...20 кГц).

Conclusion

It is necessary to record the Group Delay characteristic not only at one frequency of 20 kHz, but to analyze it throughout the

entire audio range and far beyond it. Particular attention should be paid to Group Delay behavior far beyond the audio range. The greater the length of the linear section, the better. The best option when Group Delay has a smooth decline. A small rise in GD is allowed no earlier than at a frequency of 1 ... 2 MHz, while the amount of rise should not exceed 1.5 ... 2 GD corresponding to the horizontal section (or at frequencies of 5 ... 20 kHz).

Литература:

Literature:

1.А. Petrov, Amplifier with current feedback, Radio 2018-06

1. А.Петров, УМЗЧ с токовой обратной связью, Радио 2018-06

Petr