

Система серво-контроля и ее влияние на работу усилителей звуковой частоты *Servo control system and its influence on the operation of audio amplifiers*

Рассмотрим работу системы сервоконтроля на примере идеального инвертирующего усилителя постоянного тока с коэффициентом усиления -20 (26 дБ), рис. 1

Let us consider the operation of the servo control system using the example of an ideal inverting DC amplifier with a gain of -20 (26 dB), Fig. 1

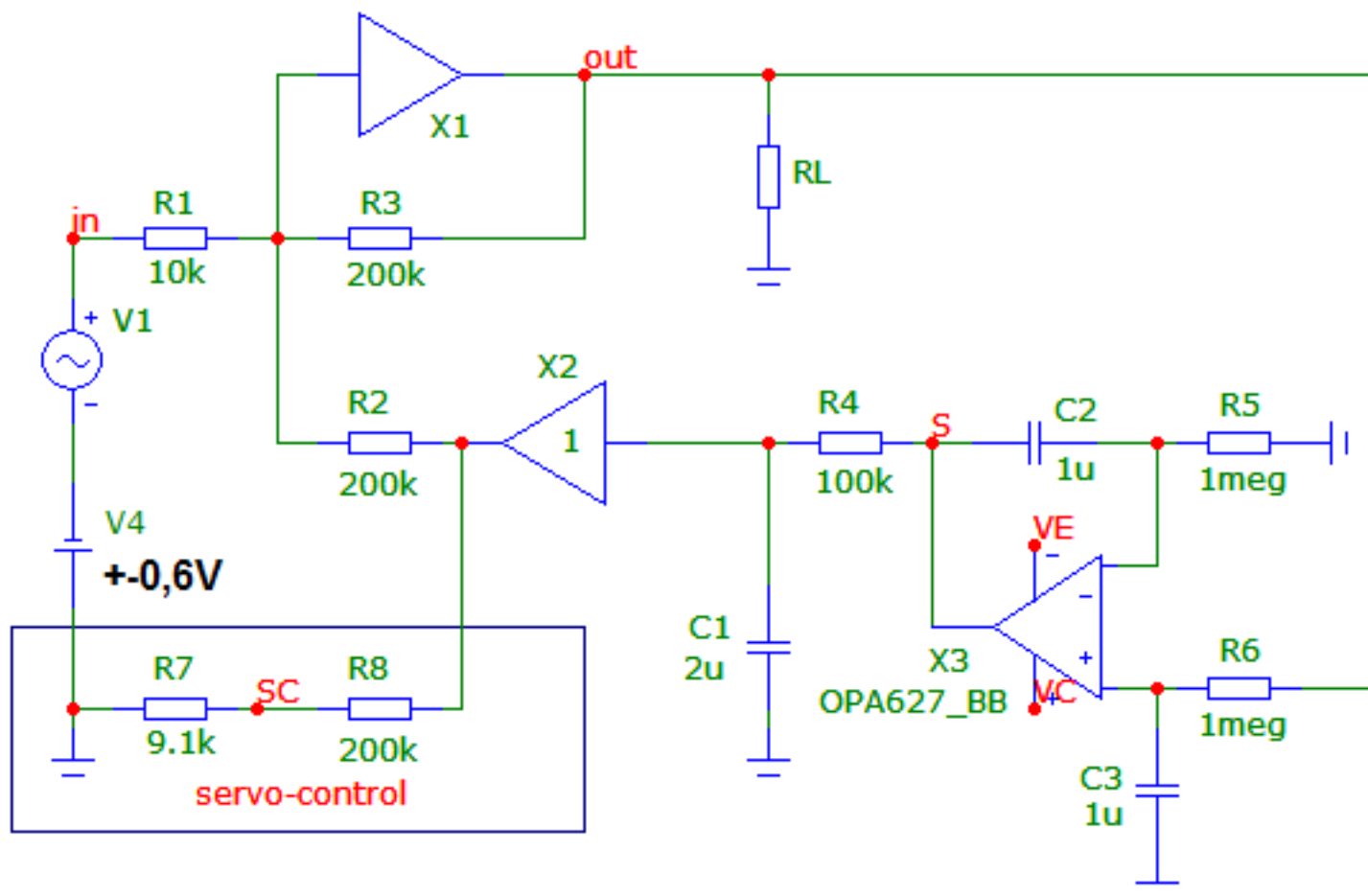


Fig. 1

На рисунке 1 усилитель Х1 — идеальный инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления 10000 (70 дБ) — типовое усиление подавляющего большинства усилителей звуковой частоты с разомкнутой петлей ООС. В качестве усилителя специально взят идеальный, чтобы более наглядно увидеть влияние именно системы сервоконтроля на работу усилителя в области НЧ. Идеальный усилитель охвачен ООС глубиной 26 дБ, поэтому петлевое усиление во всей полосе звуковых частот равно $70 - 26 = 54$ дБ, что более чем достаточно для неискаженного усиления сигналов.

In Figure 1, amplifier X1 is an ideal inverting amplifier with a gain of 10,000 (70 dB) - a typical amplification of the vast majority of audio amplifiers with an open feedback loop. The ideal amplifier was specially chosen in order to more clearly see the influence of the servo control system on the operation of the amplifier in the low frequency range. An ideal amplifier is covered by NFB with a depth of 26 dB, so the loop gain in the entire audio frequency band is $70 - 26 = 54$ dB, which is more than enough for undistorted signal amplification.

График петлевого усиления показан на рис. 2

The loop gain plot is shown in Fig. 2

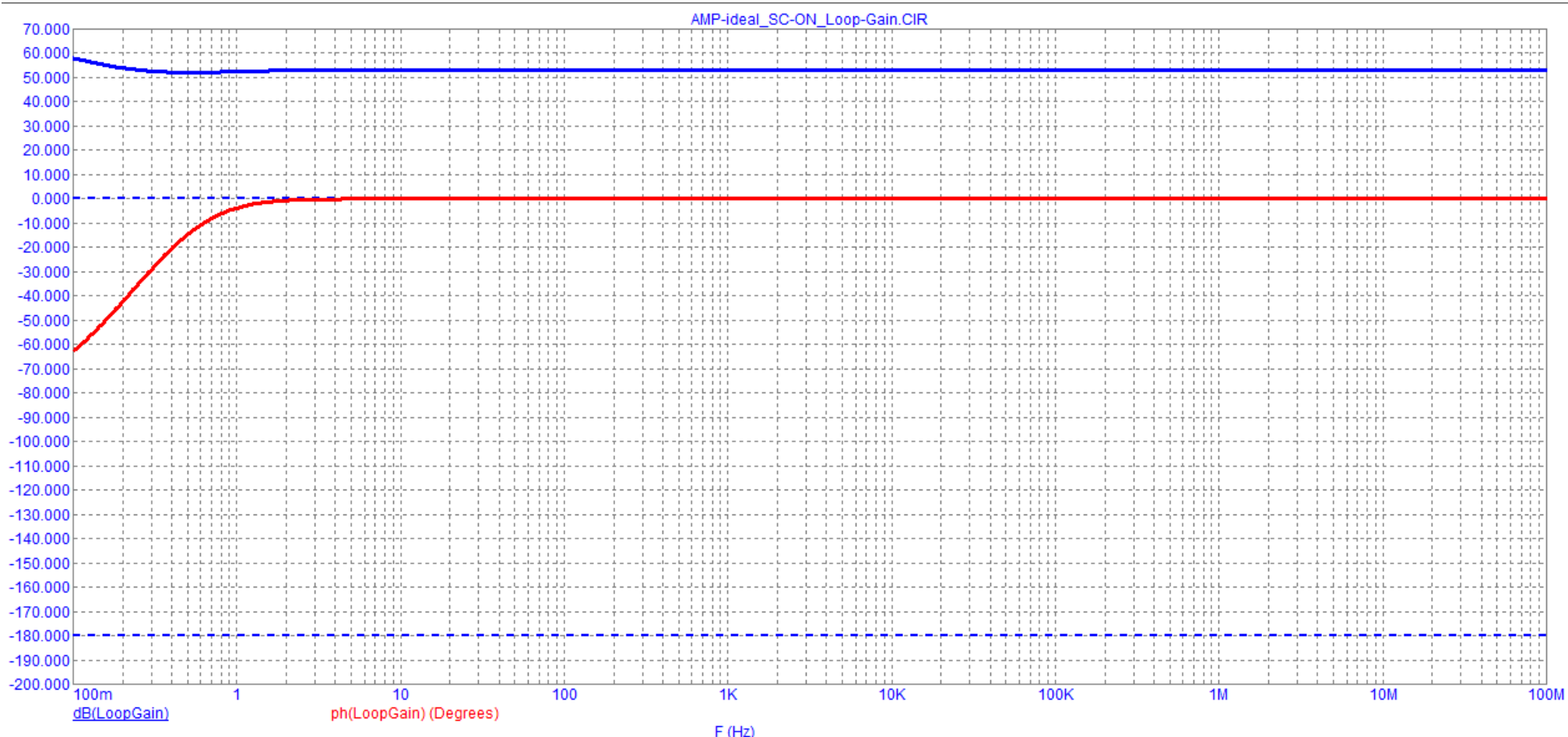


Fig. 2

Снимем диаграмму Бode, рис. 3
Let's remove the Bode diagram, fig. 3

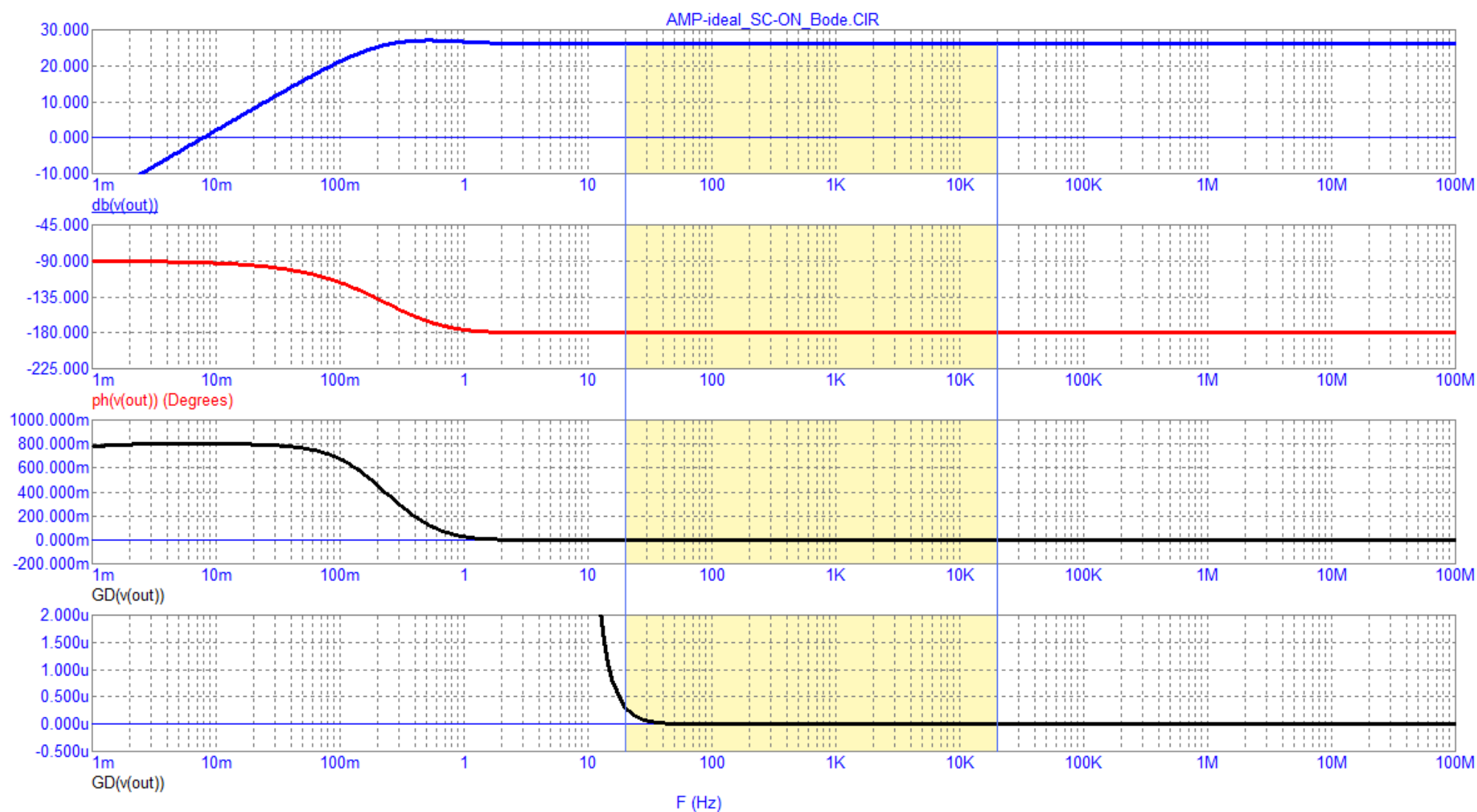


Fig. 3

Из диаграммы Бode видно что рост ГВЗ начинается ниже 40 Гц, в остальном диапазоне ГВЗ равно нулю, благодаря идеальному усилителю X1.

Проверим работу системы сервоконтроля в контрольных точках S и SC, рис. 3a).

It can be seen from the Bode diagram that the growth of the group delay starts below 40 Hz, in the rest of the group delay range it is equal to zero, thanks to the ideal amplifier X1.

Let's check the operation of the servo control system at the control points S and SC, Fig. 3a).

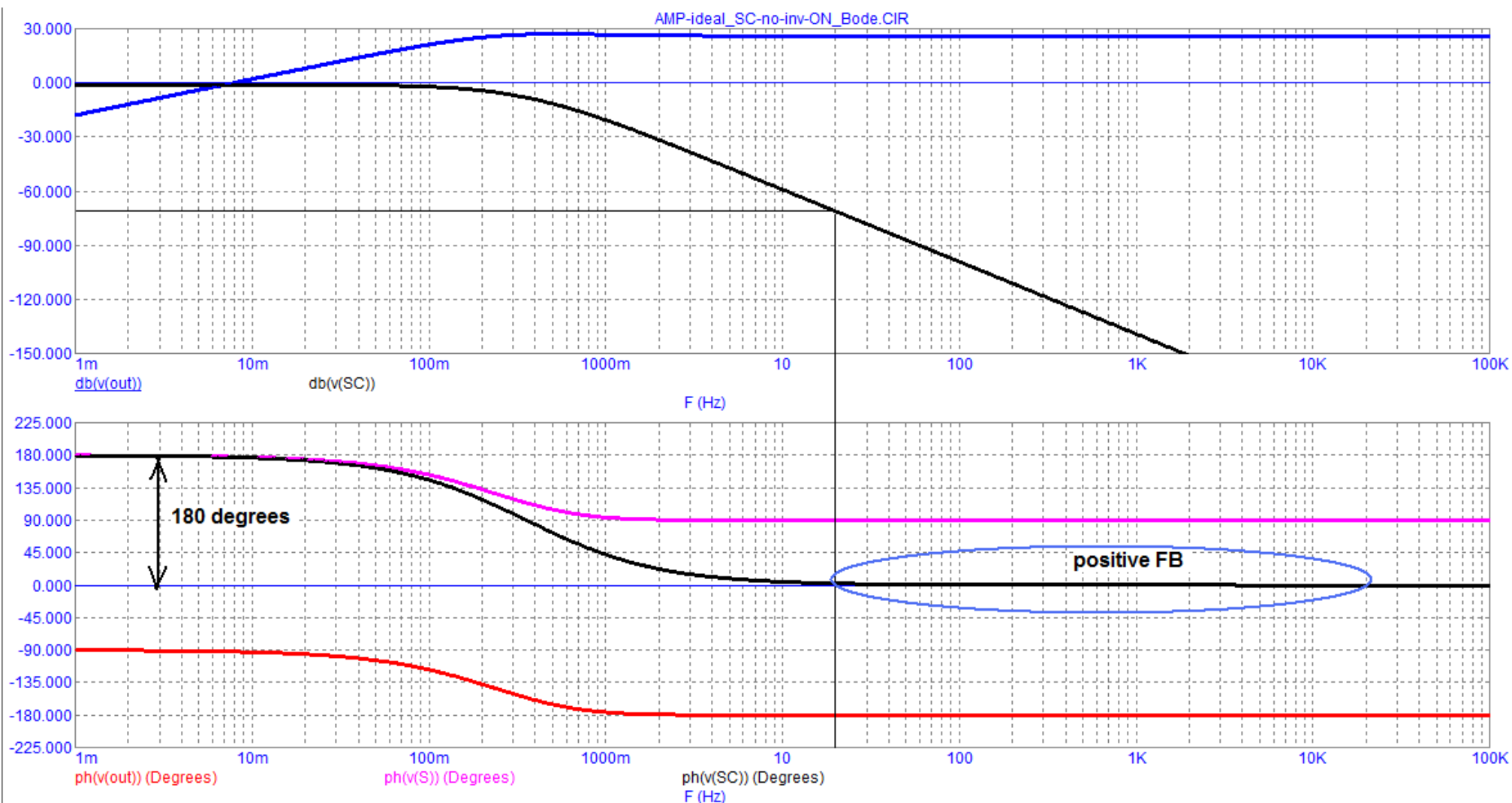


Fig. 3a)

Сигнал на выходе интегратора в точке S в звуковой полосе повернут на 90 градусов. В контрольной точке SC сигнал дополнительно повернут на 90 градусов RC-цепочкой. Поэтому суммарный поворот сигнала сервоконтроля составляет 0 градусов, что говорит о том что в звуковой полосе он будет обеспечивать положительную ОС. Однако ниже 0,1 Гц фаза серво-контроля стремится к 180 градусам, обеспечивая глубокую ООС в области инфранизких частот и на постоянном токе. Если исключить RC-цепь, то и в этом случае система сервоконтроля будет работать

обеспечивая ту же эффективность, только подавление сигнала SC на частоте 20 Гц уменьшится с -72 дБ примерно до -42 дБ.

Отключим систему серво-контроля и снимем диаграмму Бode, рис. 4

The signal at the output of the integrator at point S in the audio band is rotated 90 degrees. At the SC reference point, the signal is additionally rotated 90 degrees by the RC chain. Therefore, the total rotation of the servo control signal is 0 degrees, which means that it will provide a positive feedback in the sound band. However, below 0.1 Hz, the servo control phase tends to 180 degrees, providing deep feedback in the infra-low frequency region and at DC. If you exclude the RC circuit, then in this case the servo control system will work with the same efficiency, only the suppression of the SC signal at a frequency of 20 Hz will decrease from -72 dB to about -42 dB.

Turn off the servo control system and remove the Bode diagram, Fig. 4

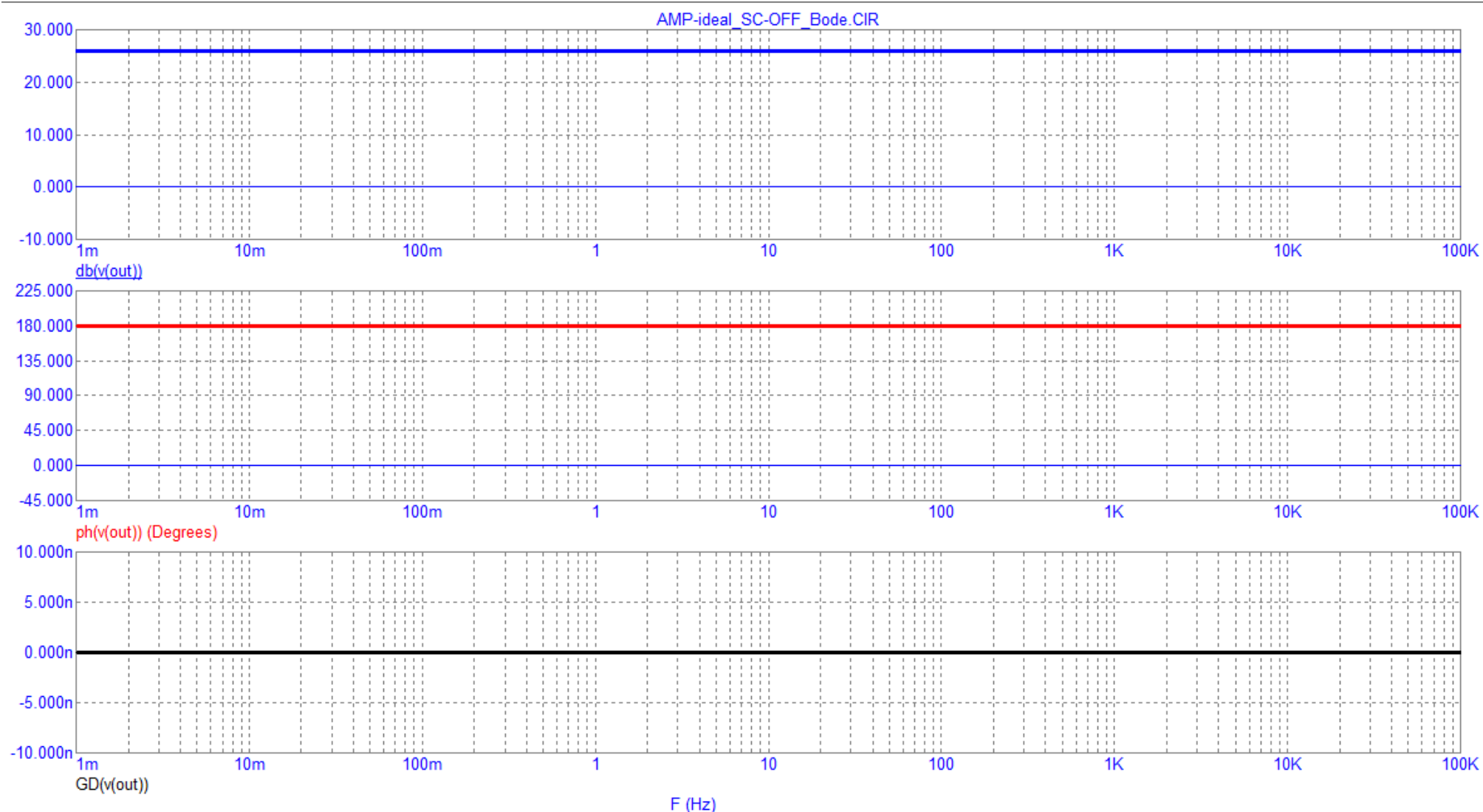


Fig. 4

Диаграмма Бode идеального усилителя соответствует параметрам которые приведены в любом учебнике для некажженной передачи сигналов.

Проверим с какой точностью усилитель без серво-контроля усиливает сигнал частотой 20 Гц на первом периоде, рис. 5

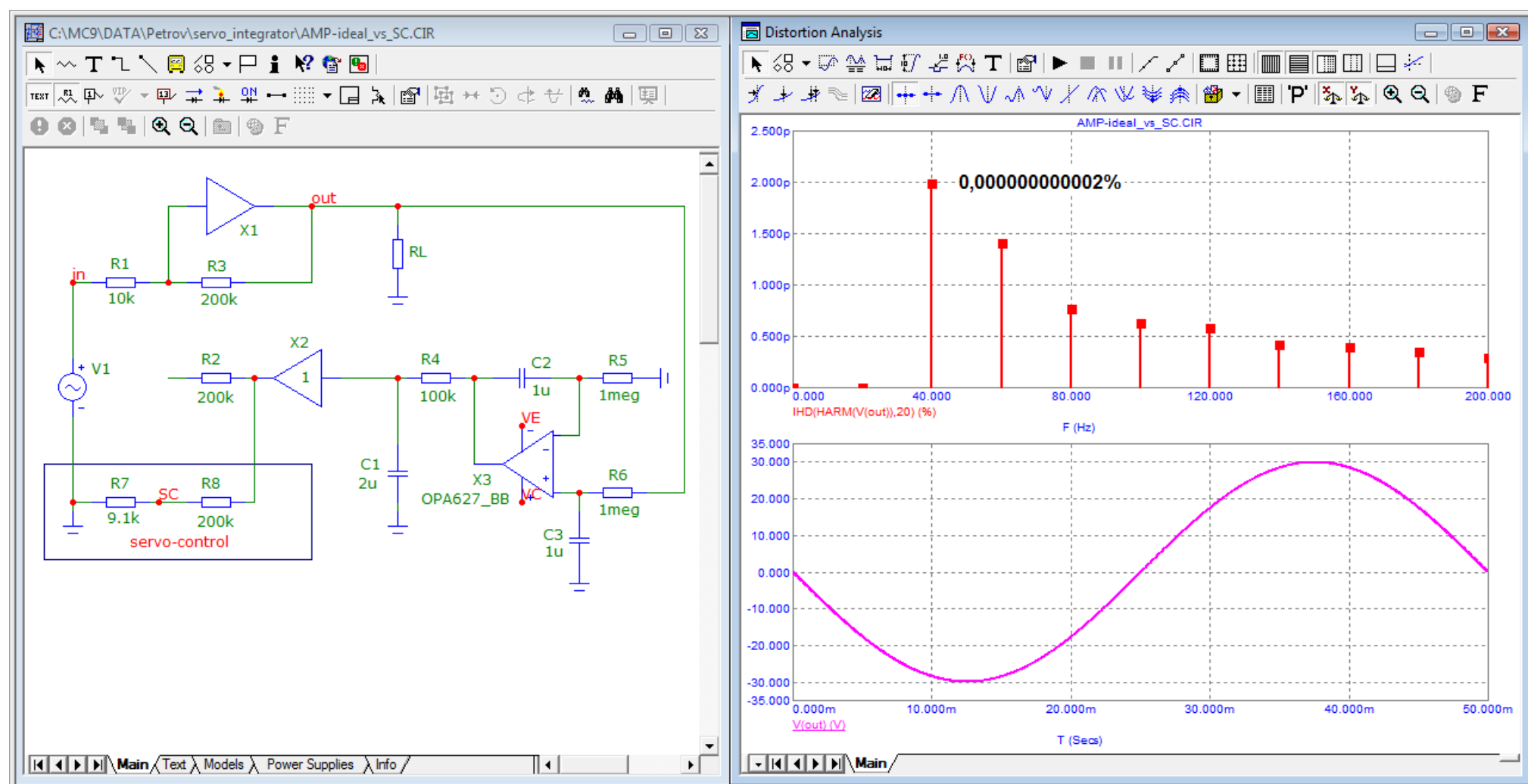


Fig. 5

The Bode diagram of an ideal amplifier corresponds to the parameters given in any textbook for unspecified signal transmission.

Let's check with what accuracy an amplifier without servo control amplifies a signal with a frequency of 20 Hz in the first period, Fig. 5

Так как усилитель идеальный и нет задержки прохождения сигнала, то усилитель безупречно усиливает сигнал с первого периода.

Включим систему серво-контроля и для начала проверим искажения на 4-м периоде, рис. 6

Since the amplifier is ideal and there is no signal propagation delay, the amplifier amplifies the signal flawlessly from the first period.

Let's turn on the servo control system and first check the distortion in the 4th period, Fig. 6

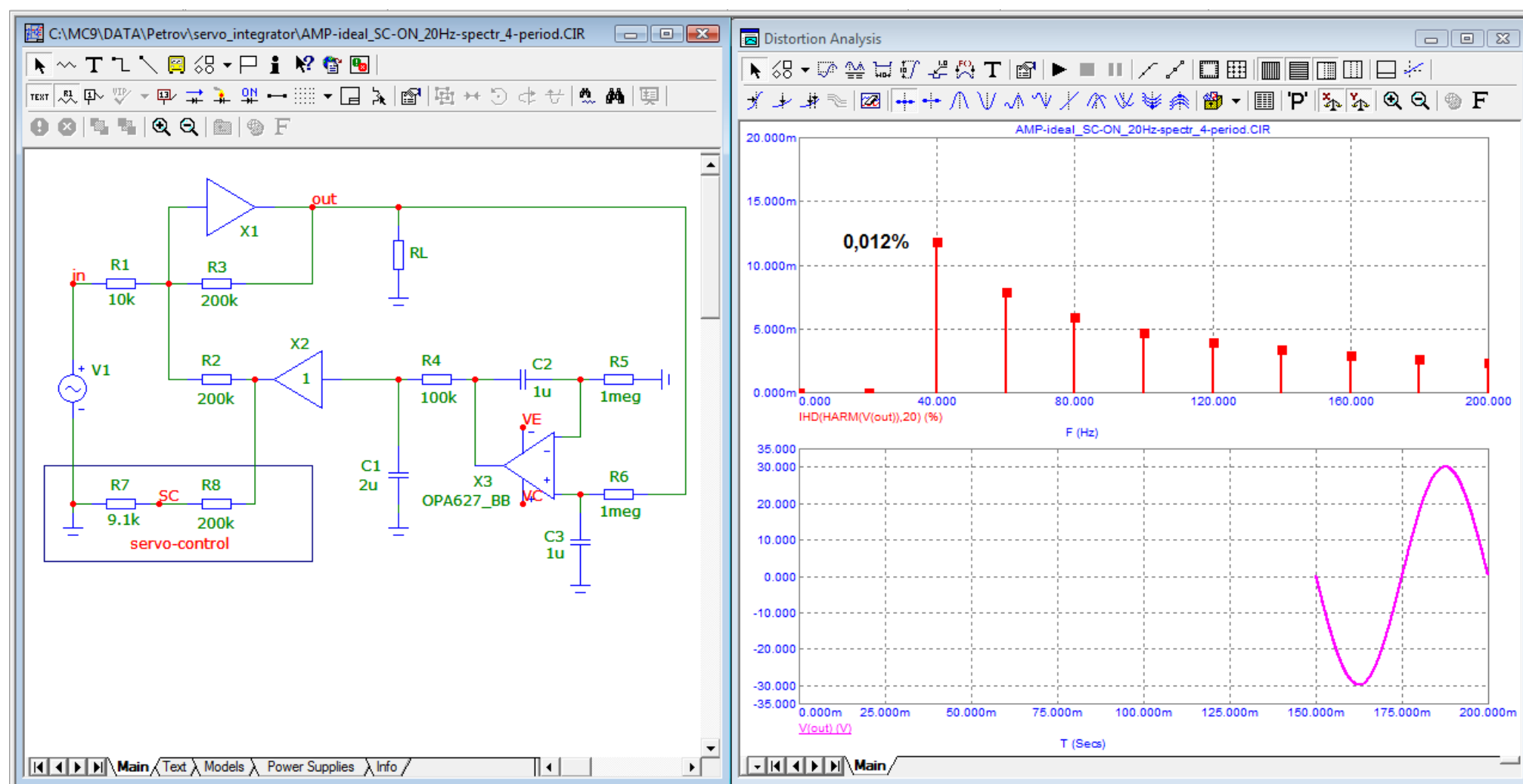


Fig. 6

Проверим спектр выходного напряжения на первом периоде с включенной системой серво-контроля, fig. 7

Let's check the spectrum of the output voltage in the first period with the servo-control system turned on, fig. 7

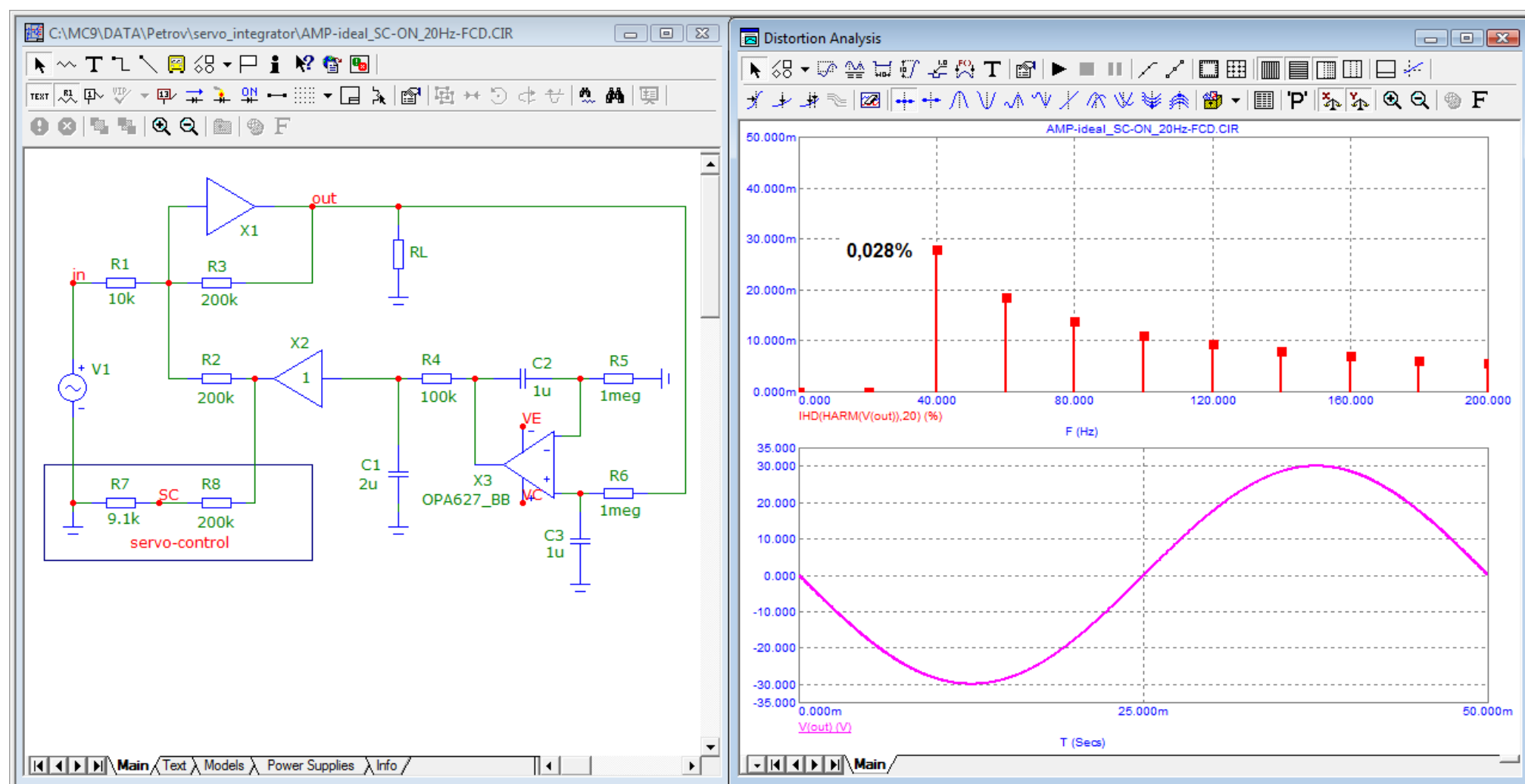


Fig. 7

Измерим векторные погрешности при усилении сигнала близкого к реальному (с атакой, стационарной частью и спадом), рис. 8

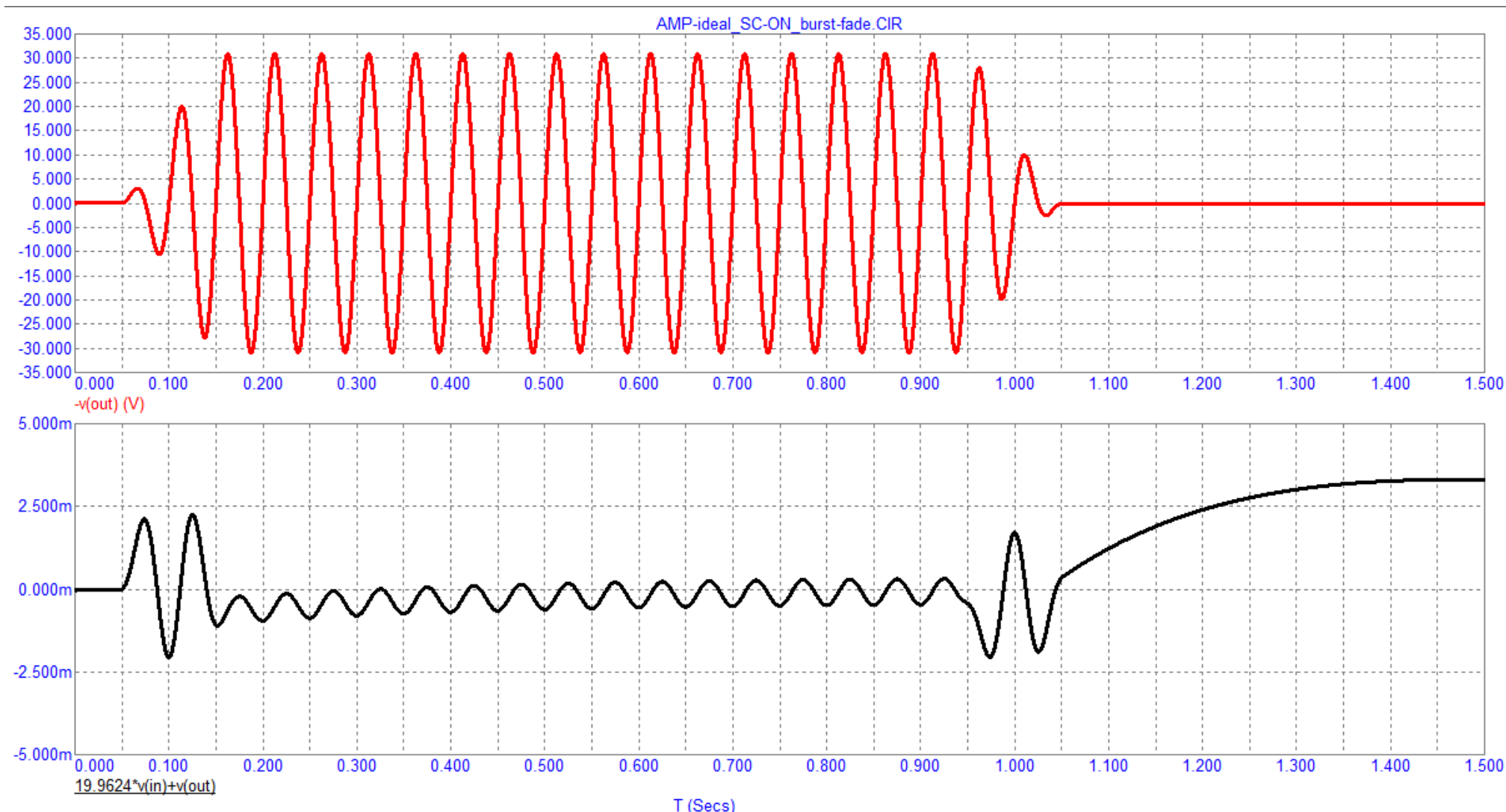


Fig. 8

Как видно из результата теста векторные погрешности минимальны в стационарной части где чувствительность слуха к искажениям минимальна и максимальны на участке атаки и спада. И это не удивительно, так сигнал серво-контроля хоть и мал по величине, но поступает в точку суммирования с задержкой 320 мкс. И хотя по сравнению с периодом сигнала (50 мс) это всего лишь 1/150 часть периода, тем не менее подобная задержка вносит ощутимые искажения. Взяв хотя бы амплитуду первого полупериода равную 3 В, а амплитуда векторной погрешности равна 2 мВ, что от 3 В составляет 0,07 %.

Подадим на вход усилителя пачки сигнала с чередующейся полярностью первого периода, рис. 9

As can be seen from the test result, vector errors are minimal in the stationary part where the hearing sensitivity to distortion is minimal and maximal in the attack and decay area. And this is not surprising, since the servo control signal, although small in magnitude, arrives at the summation point with a delay of 320 μ s. And although compared to the signal period (50 ms) this is only 1/150 of the period, nevertheless such a delay introduces tangible distortions. Take at least the amplitude of the first half-cycle equal to 3 V, and the amplitude of the vector error is 2 mV, which is 0.07% of 3 V.

Let's apply to the input amplified signal bursts with alternating polarity of the first period, Fig. 9

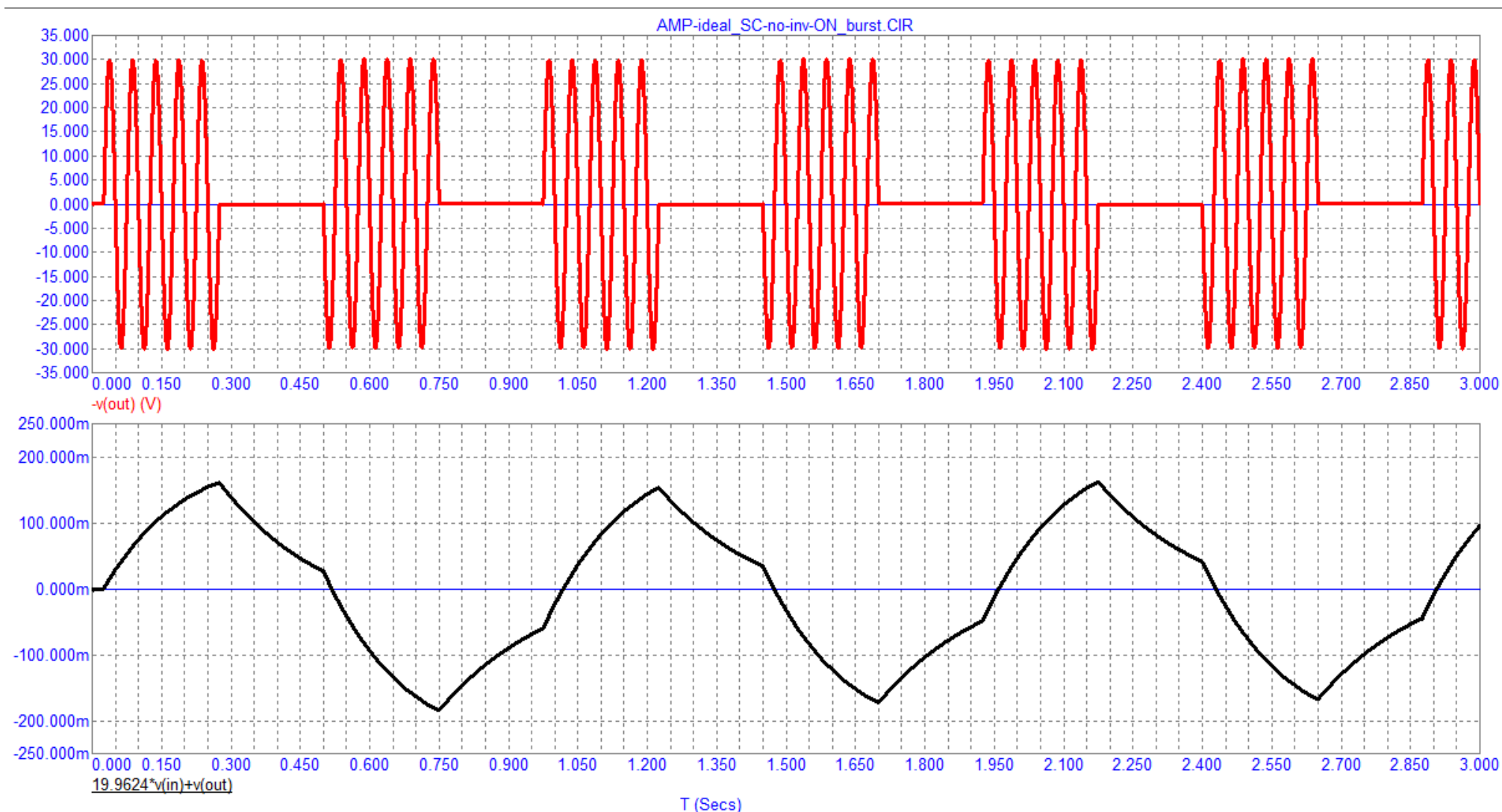


Fig. 9

Из теста видно что при поступлении на вход сигналов с амплитудой близкой чувствительности усилителя в выходном сигнале появляется постоянная составляющая зависящая от полярности первого полупериода сигнала.

Подадим на вход непрерывный сигнал и посмотрим какое время необходимо для выхода на установившийся режим, рис. 10

It can be seen from the test that when signals with an amplitude close to the sensitivity of the amplifier arrive at the input, a constant component appears in the output signal, depending on the polarity of the first half-period of the signal.

Let's apply a continuous signal to the input and see how long it takes to reach the steady state, Fig. 10

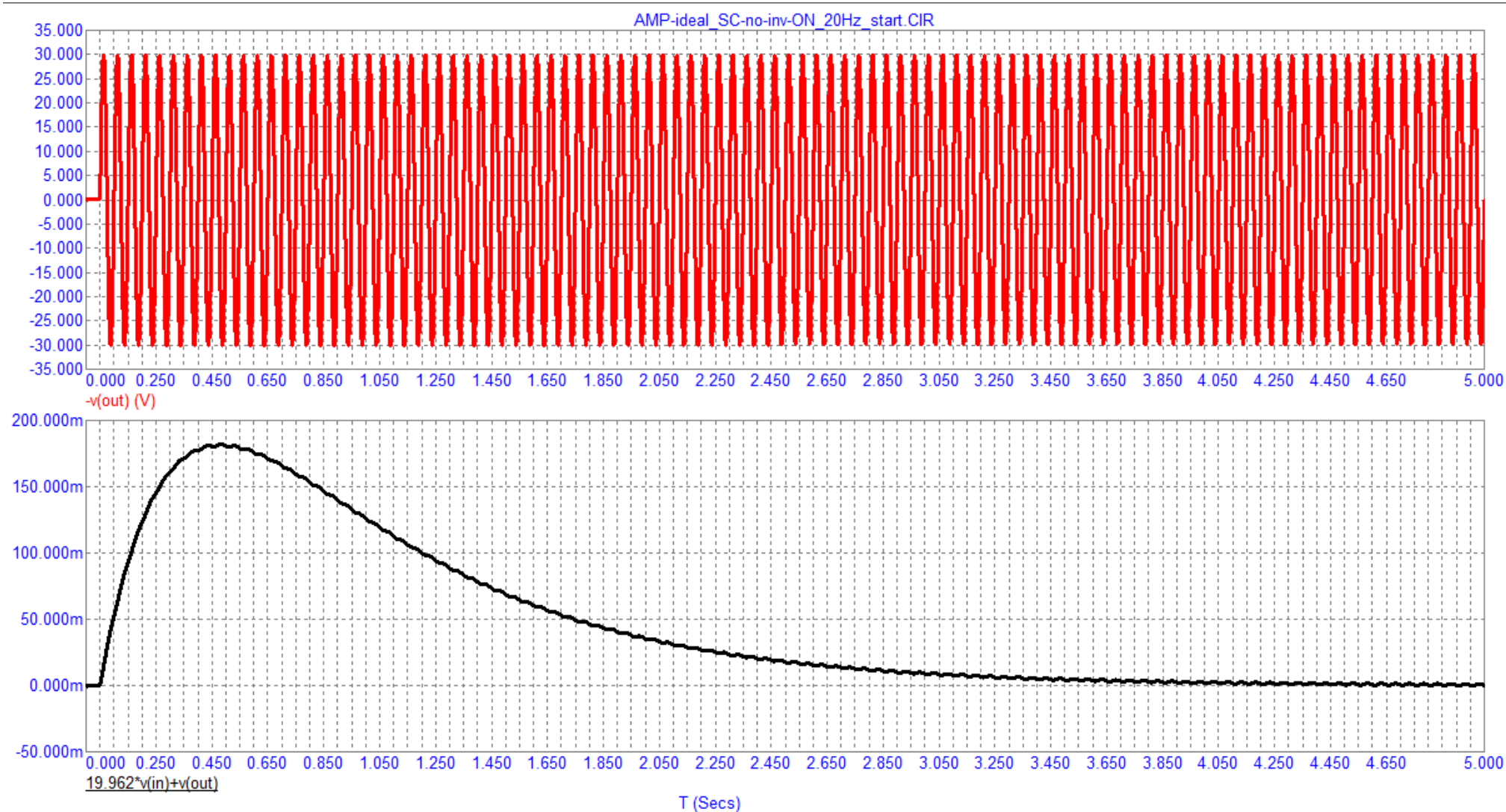


Fig. 10

Из теста видно что в выходном сигнале появляется постоянная составляющая до 180 мВ, выход на установившийся режим занимает более 3 секунд.

И наконец, подадим на вход усилителя фрагмент начала одного из треков, рис. 11

It can be seen from the test that a constant component of up to 180 mV appears in the output signal, reaching the steady state takes more than 3 seconds. And finally,

let's feed a fragment of the beginning of one of the tracks to the amplifier input, Fig. 11

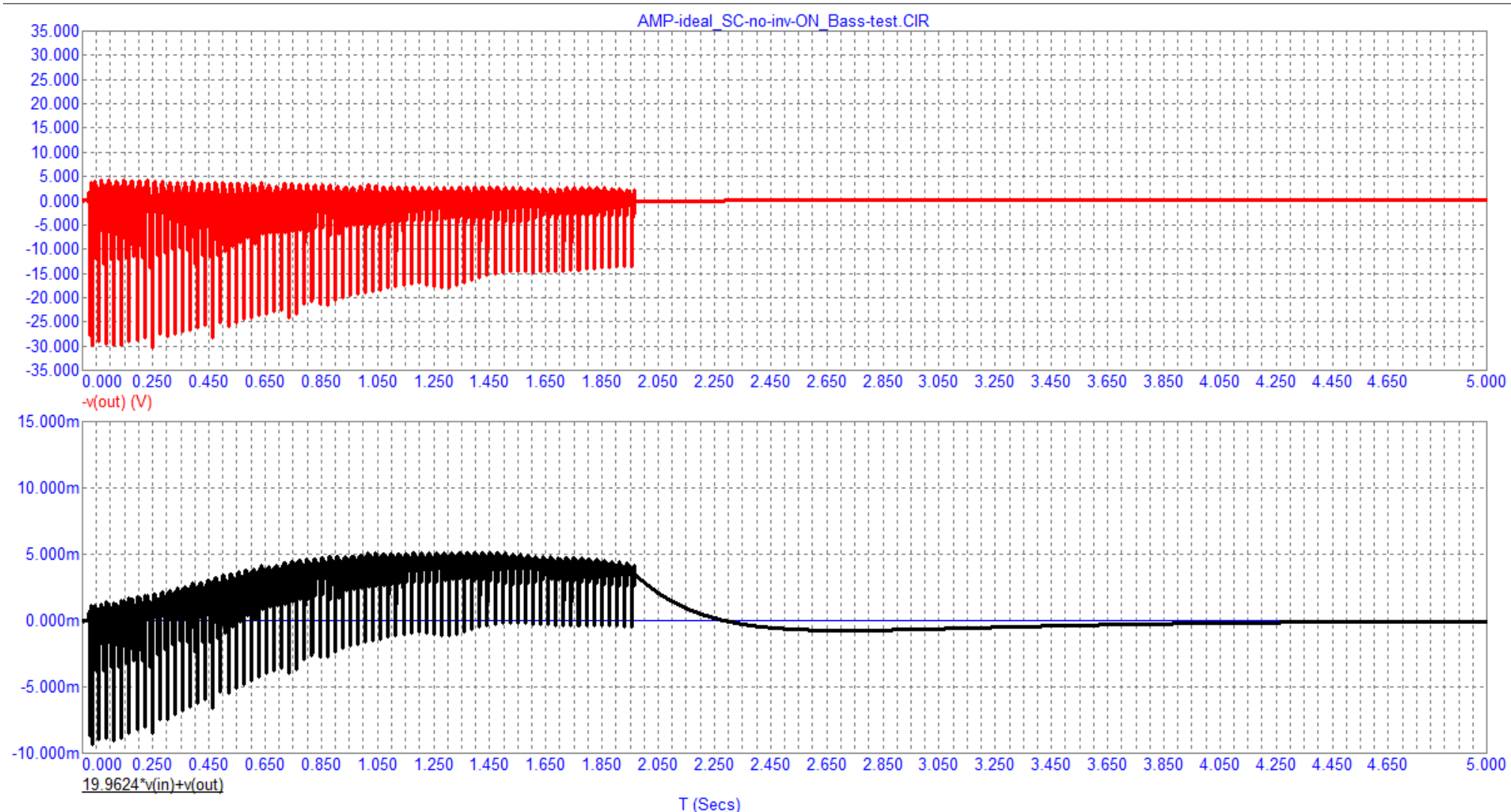


Fig. 11

И на реальном сигнале мы видим появление постоянной составляющей. Наиболее плотная часть сигнала в конце фрагмента амплитудой от пика до пика примерно 5 В сдвинута на 3 мВ, что от амплитуды 2,5 В составляет около 0,12 %. Без системы серво-контроля нет ни векторных погрешностей, ни искажений.

And on a real signal, we see the appearance of a constant component. The densest part of the signal at the end of the fragment with an amplitude from peak to peak of about 5 V is shifted by 3 mV, which is about 0.12% from an amplitude of 2.5 V. Without a servo control system, there is no vector error or distortion.

Краткий анализ провел

A brief analysis was carried out

Petr_2009

Александр Петров