

# Усилитель звуковой частоты с токовой ОС Audio amplifier with current feedback

Этот усилитель был опубликован в Российском журнале [1], рис. 1  
This amplifier was published in the Russian journal [1], Fig. 1

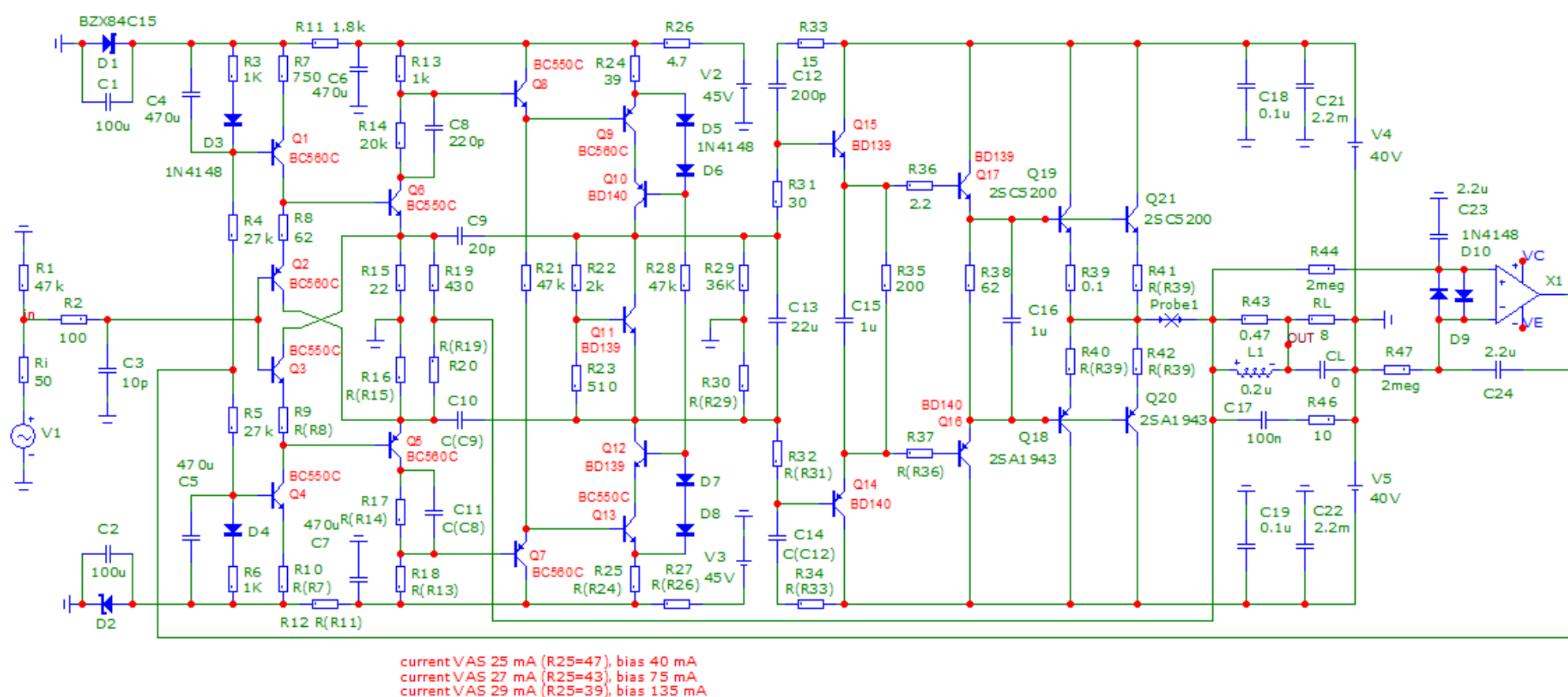


Fig. 1

Диаграмма Бode приведена на рис. 2  
The Bode diagram is shown in Fig. 2

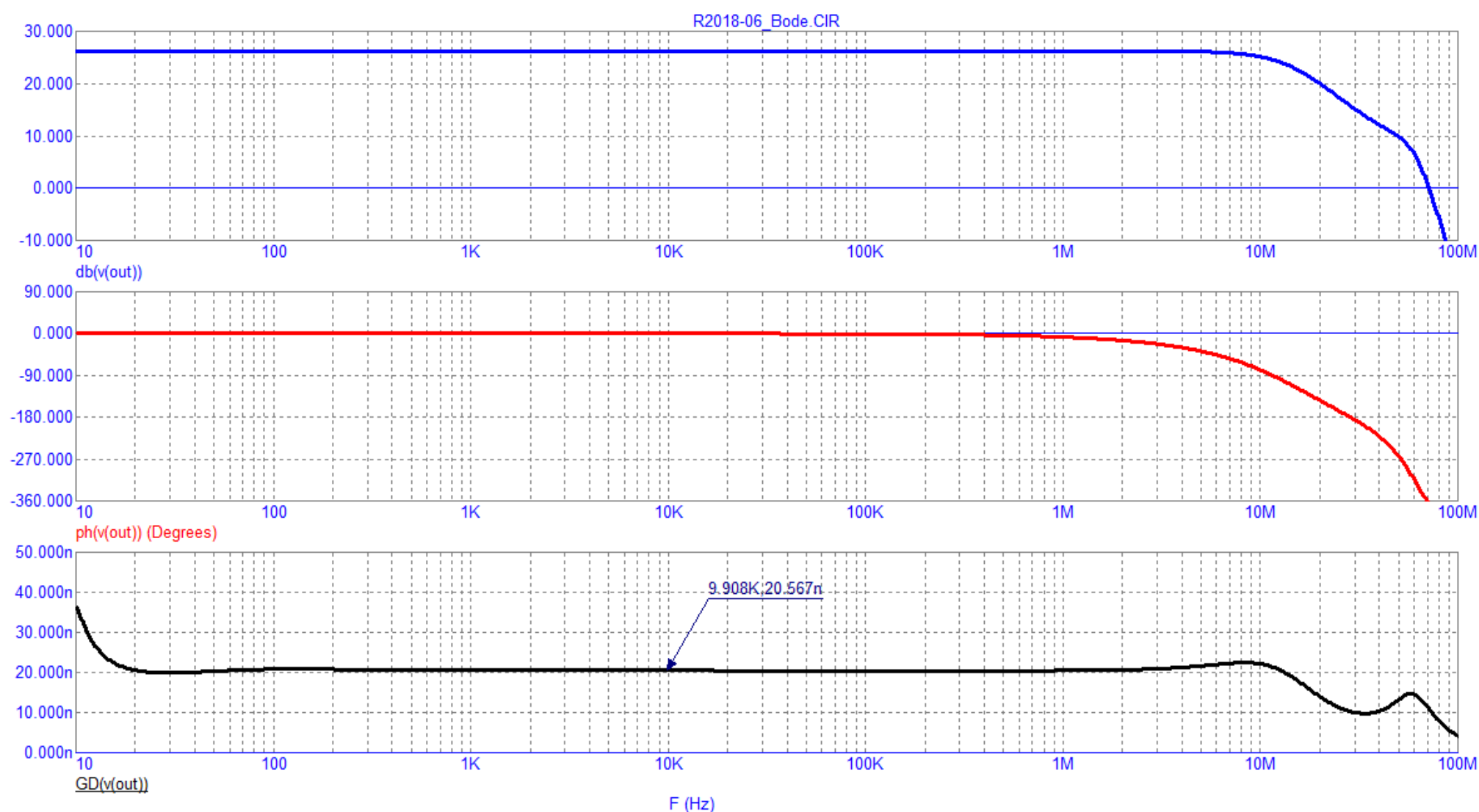


Fig. 2

Из диаграммы Бode видно что время задержки прохождения сигнала (time Propagation Delay) равно 20 нс.

Петлевое усиление на реактивной нагрузке CL изменяющейся от 0 до 2 мкФ (0; 0,1; 0,5 и 2 мкФ) подключенной параллельно номинальной нагрузке показано на рис. 3

The Bode diagram shows that the time Propagation Delay is 20 ns.

Loop gain on a reactive load CL varying from 0 to 2  $\mu$ F (0; 0.1; 0.5 and 2  $\mu$ F) connected in parallel to the rated load is shown in Fig. 3

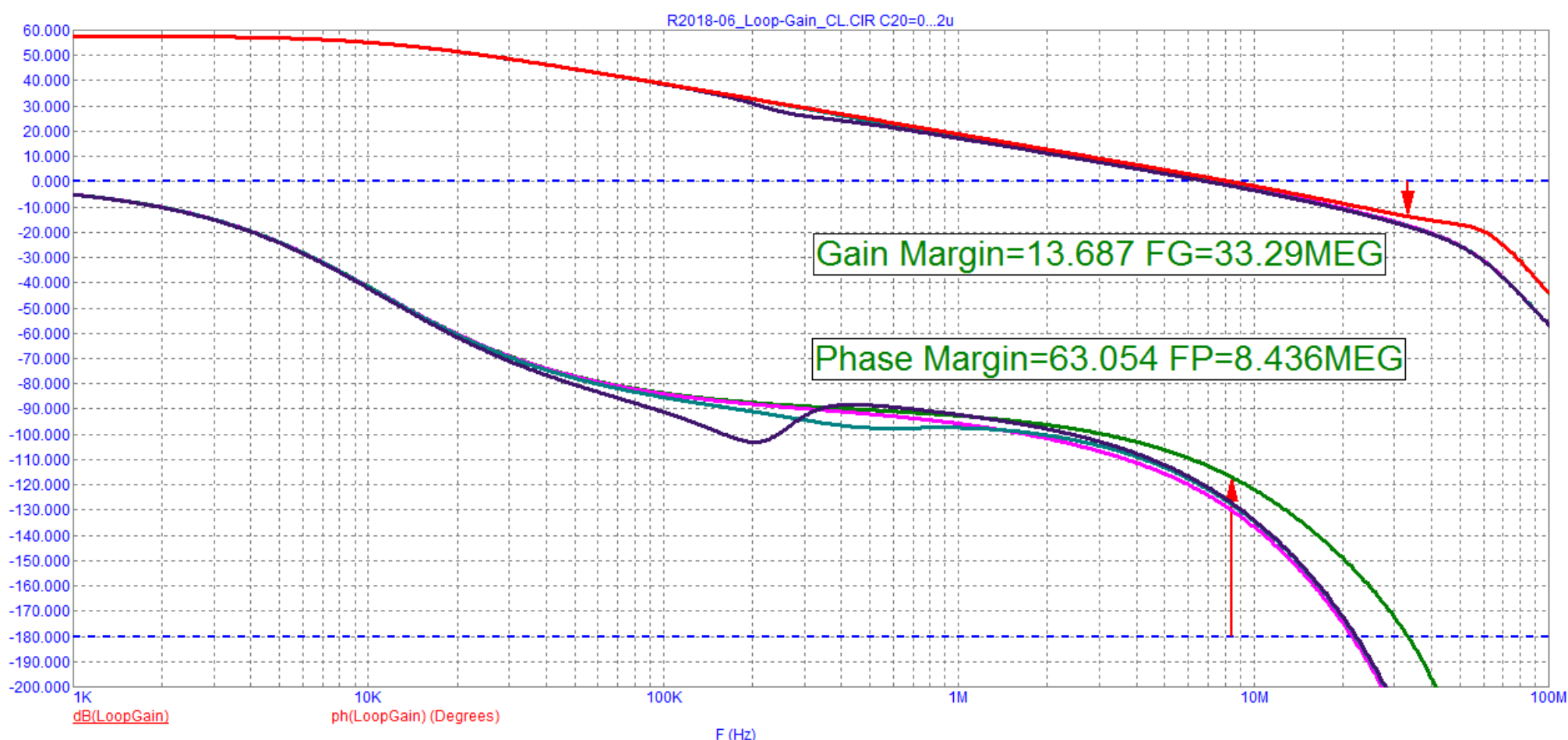


Fig. 3

Из графика следует что усилитель достаточно устойчив к реактивной нагрузке и дополнительная нагрузка на запасах устойчивости не отражается.

Спектр гармоник на частоте 20 кГц при выходном напряжении 30 В(пик) показан на рис. 4

It follows from the graph that the amplifier is sufficiently resistant to reactive load and the additional load is not reflected in the stability margins.

The harmonic spectrum at a frequency of 20 kHz at an output voltage of 30 V (peak) is shown in Fig. 4

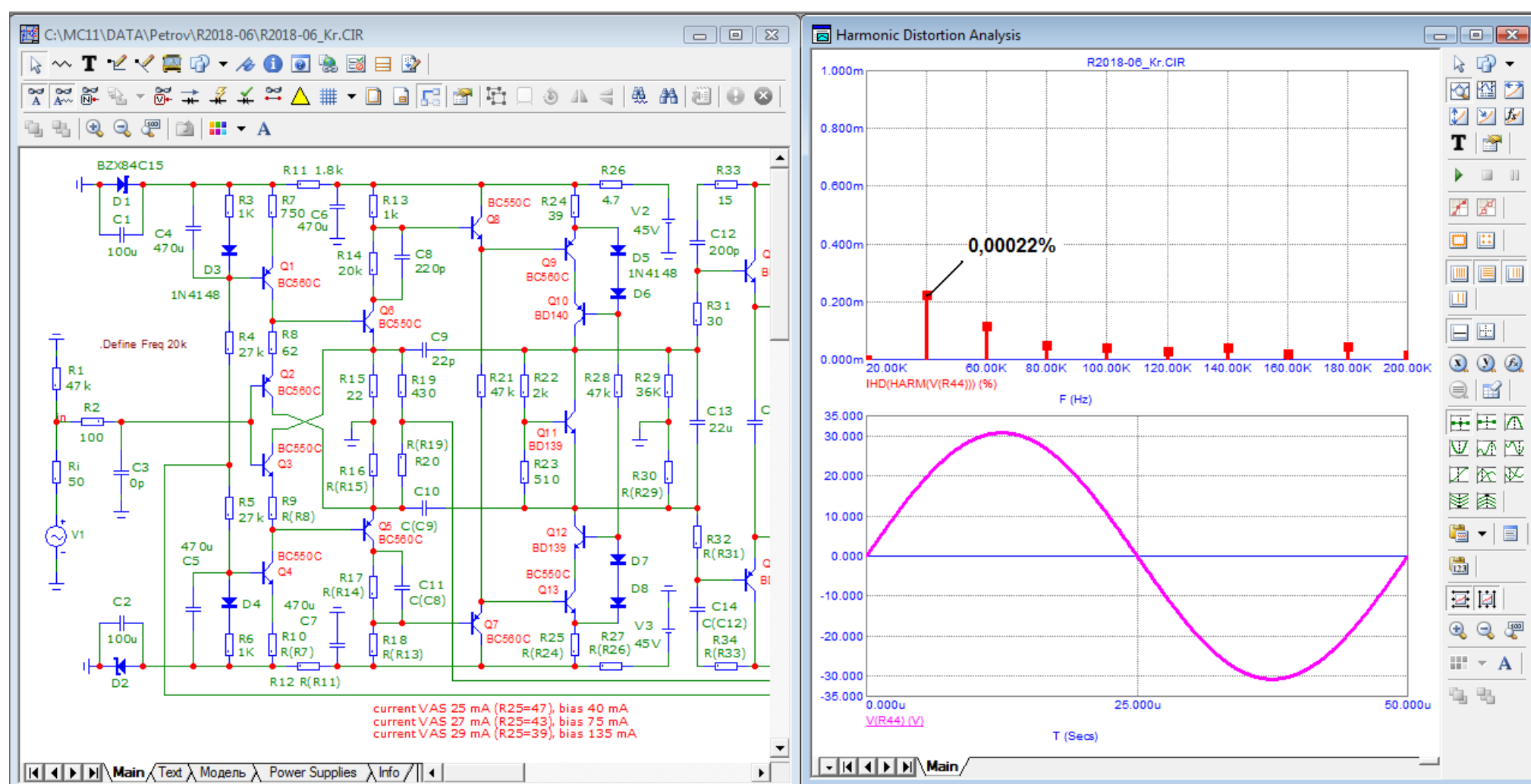


Fig. 4

В спектре искажений сигнала частотой 20 кГц в установившемся режиме преобладает 2-я гармоника уровнем 0,0002%.

Зависимость THD от частоты показана на рис. 5

In the spectrum of signal distortions with a frequency of 20 kHz in the steady state mode, the 2nd harmonic with a level of 0.0002% prevails.

The dependence of THD on frequency is shown in Fig. 5

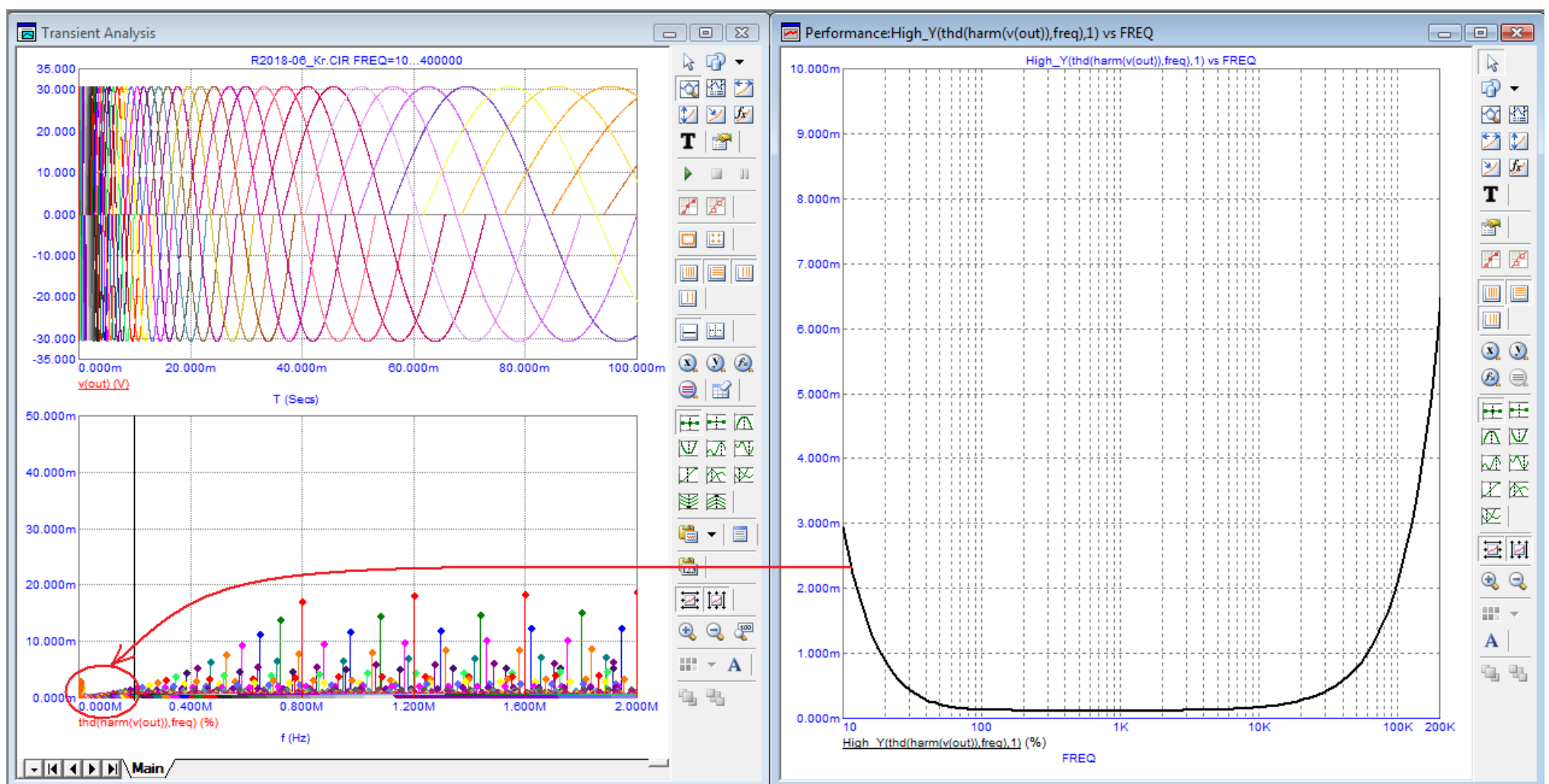


Fig. 5

Спектр интермодуляционных искажений приведен на графике рис. 6

The spectrum of intermodulation distortion (IMD) is shown in the graph in Fig. 6

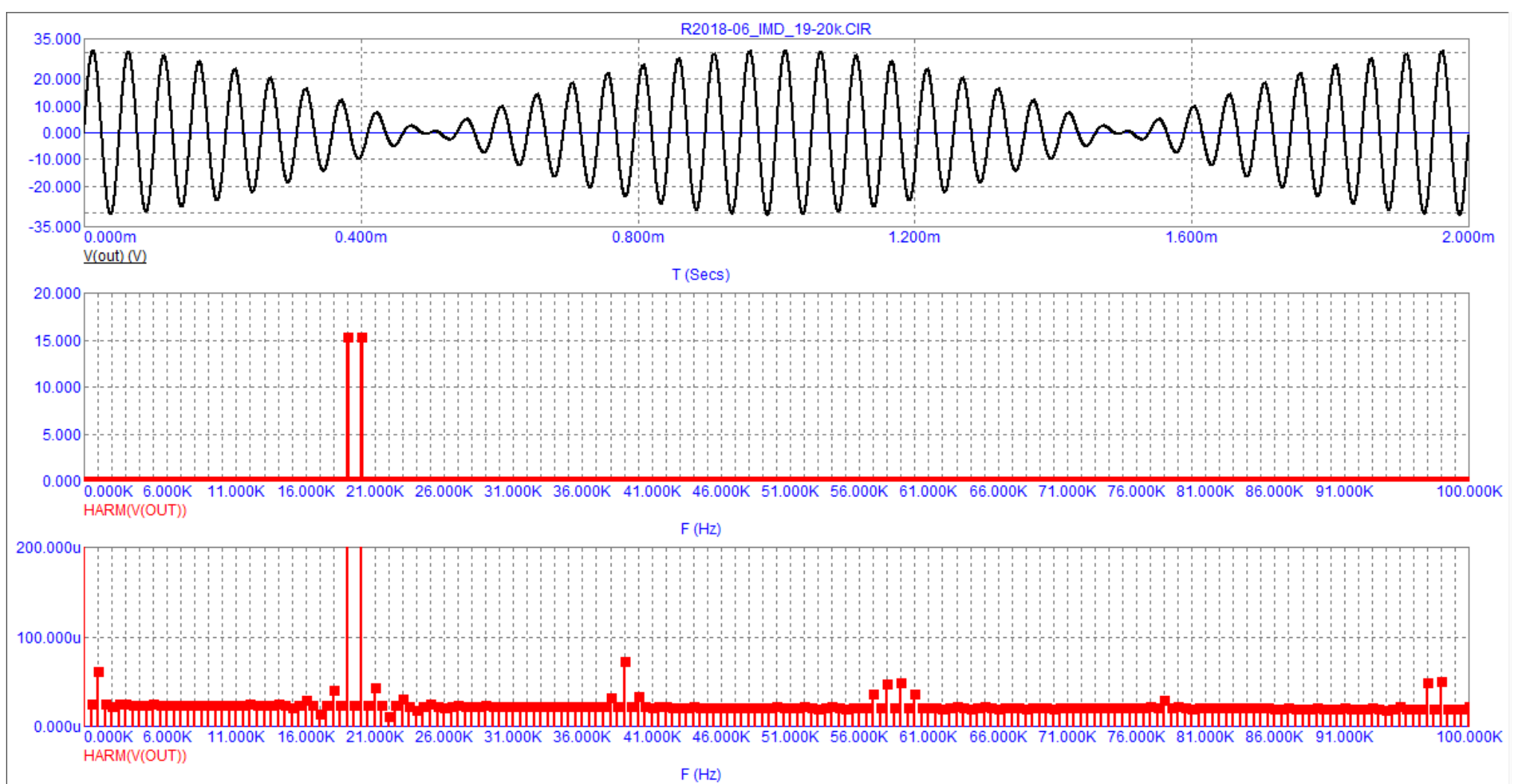


Fig. 6

ИМИ первого порядка частотой 1 кГц имеет уровень 60 мкВ, а амплитуда шумовой подставки в звуковой полосе равна 25 мкВ.

Кроссоверные искажения при токе покоя 135 мА на один выходной транзистор показаны на рис. 7

IMD of the first order with a frequency of 1 kHz has a level of 60  $\mu$ V, and the amplitude of the noise bias in the sound band is 25  $\mu$ V.

Crossover distortion at 135 mA quiescent current per output transistor is shown in Fig. 7



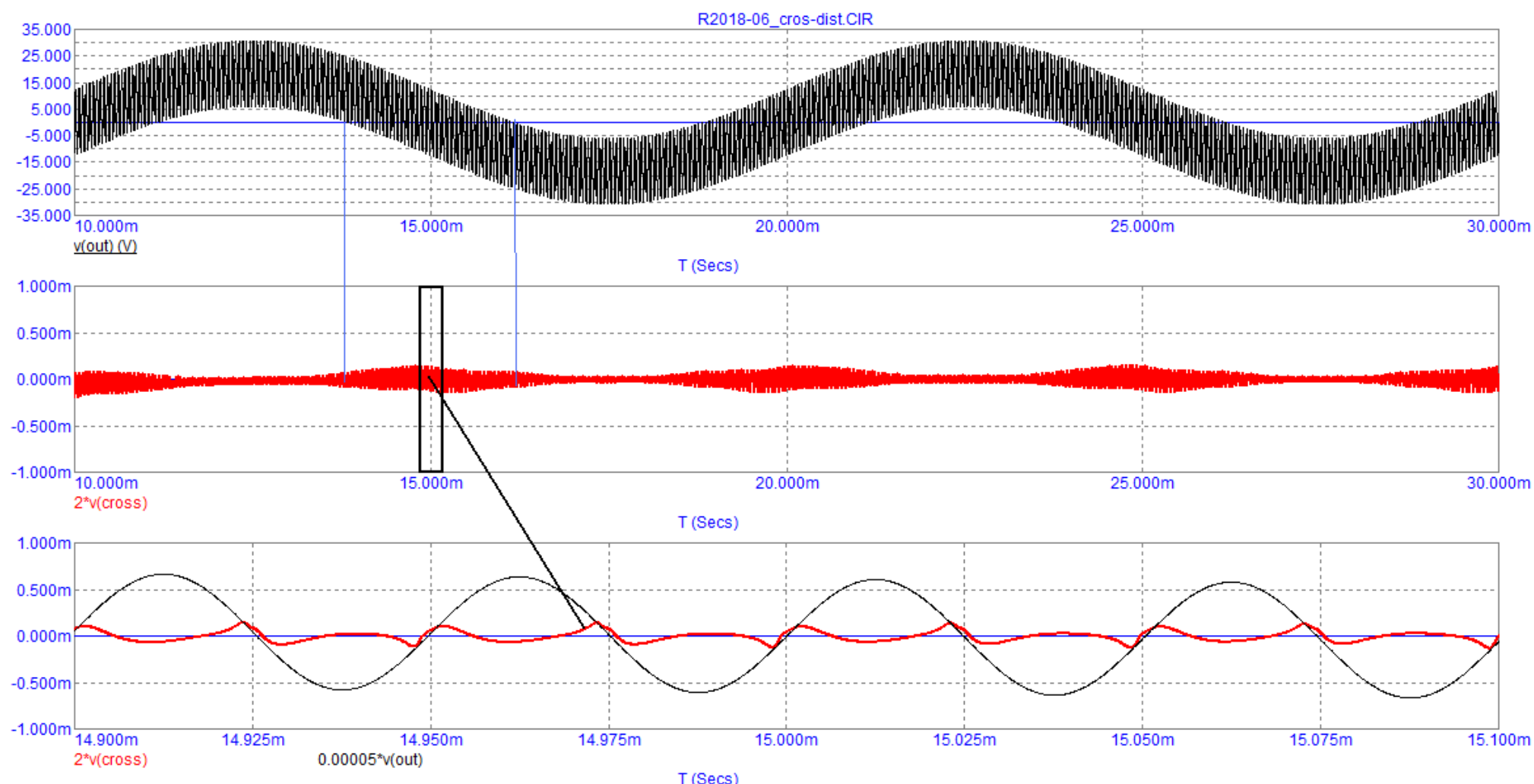


Fig. 7

Из рисунка 6 видно что коммутационные искажения на частоте 20 кГц носят «мягкий» характер и имеют низкий уровень вносимых искажений. На более низких частотах искажения этого вида ничтожно малы.

Измерим скорость нарастания выходного напряжения с помощью идеального меандра пропущенного через ФНЧ с частотой среза 1,2 МГц, рис. 8

Figure 6 shows that switching distortions at a frequency of 20 kHz are “soft” in nature and have a low level of introduced distortion. At lower frequencies, this type of distortion is negligible.

Let's measure the slew rate of the output voltage using an ideal meander passed through a low-pass filter with a cutoff frequency of 1.2 MHz, Fig. 8

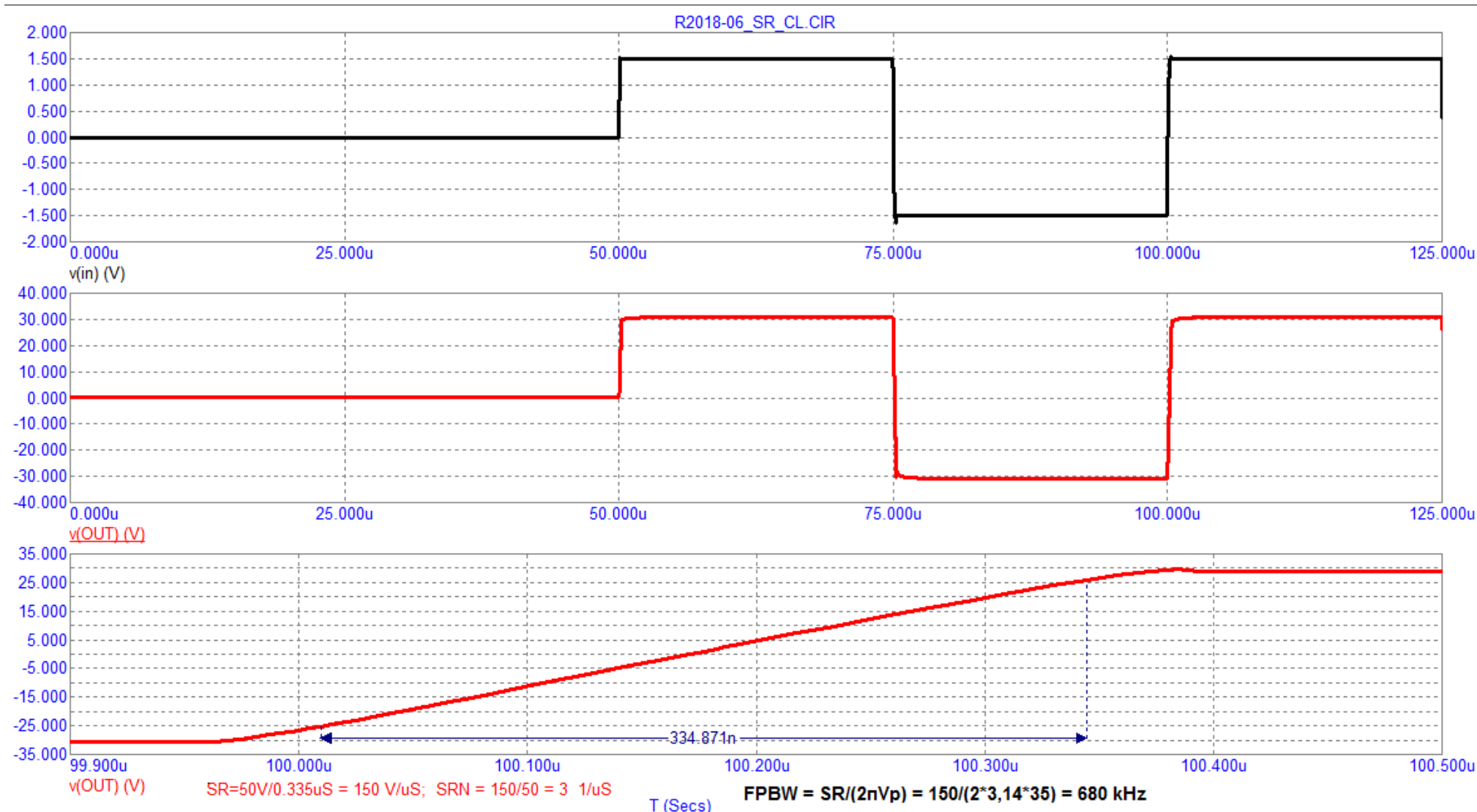


Fig. 8

Верхняя частота полной мощности по расчету равна 680 кГц с учетом фильтра 500 кГц. Поэтому для начала проверим работу усилителя на частоте 500 кГц, рис. 9

The upper frequency of the apparent power is calculated to be 680 kHz (FPBW) with a filter of 500 kHz.

Therefore, first, let's check the operation of the amplifier at a frequency of 500 kHz, Fig. 9

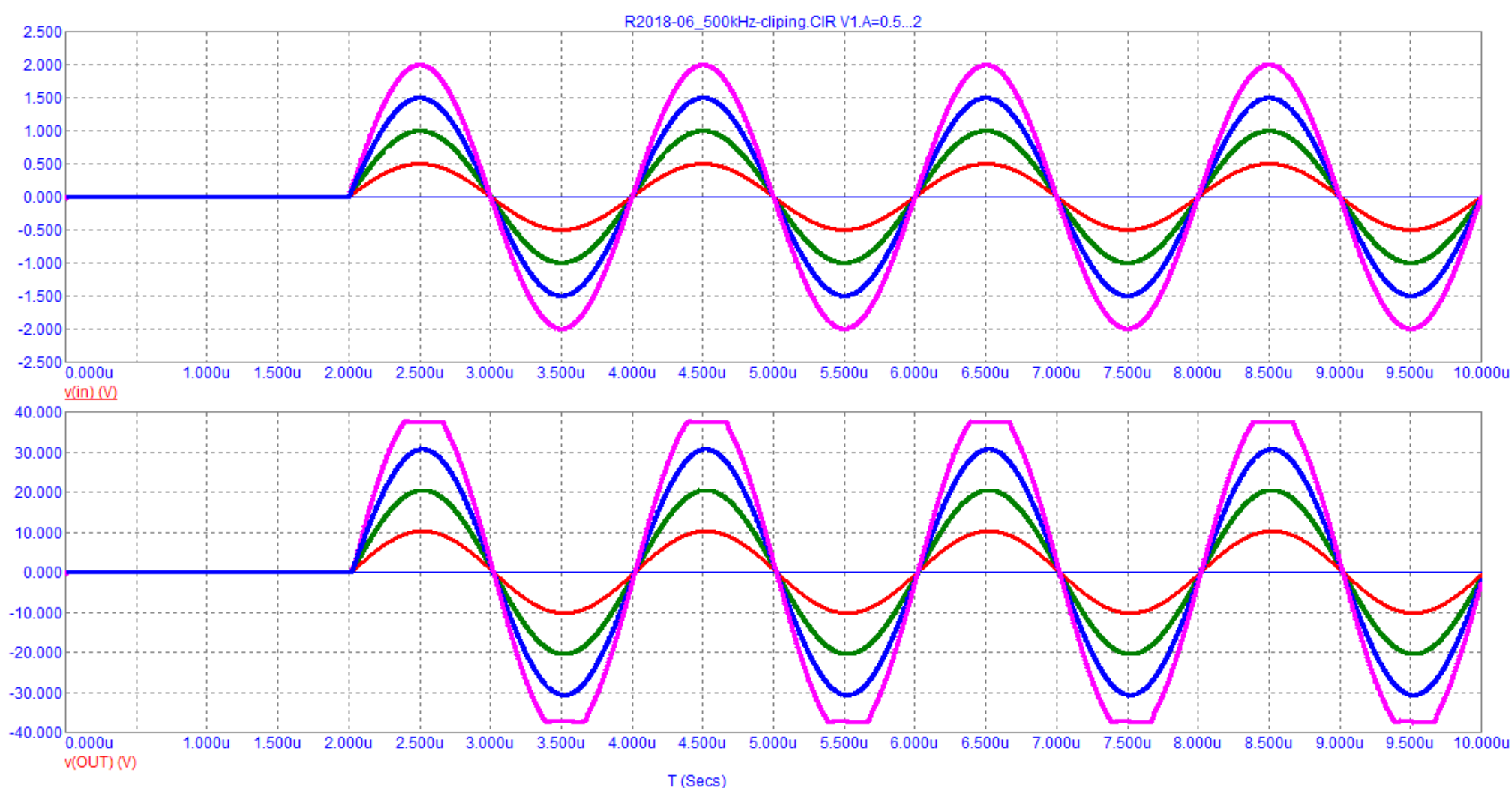


Fig. 9

Из рисунка 9 видно что с усилением сигнала частотой 500 кГц никаких проблем не возникает вплоть до жесткого клипирования сигнала.

Проверим работу усилителя на частоте в 1,4 раза выше FPBW, рис. 10

Figure 9 shows that with the amplification of a 500 kHz signal, no problems arise up to hard clipping of the signal.

Let's check the operation of the amplifier at a frequency 1.4 times higher than FPBW, Fig. 10

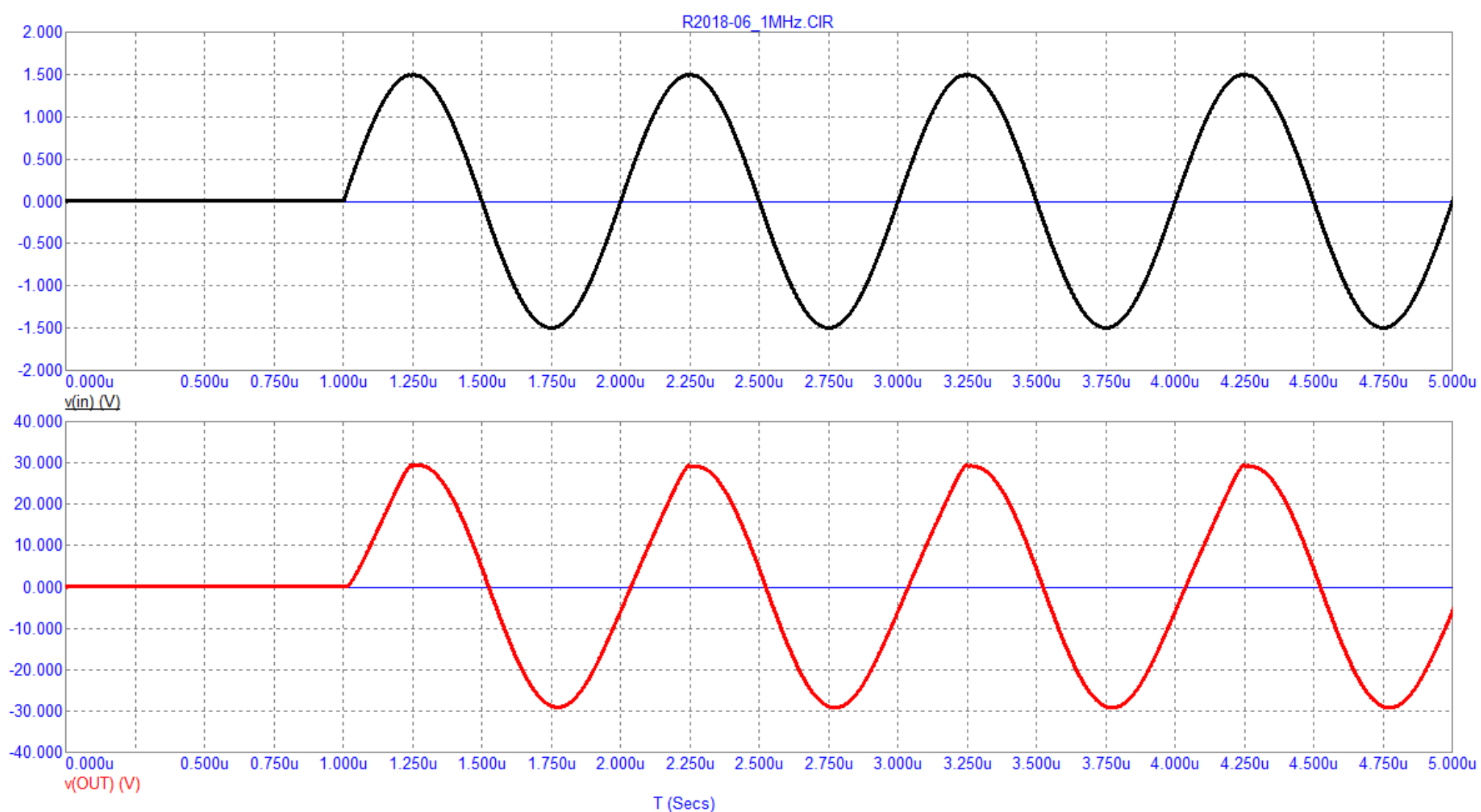


Fig. 10

Из рисунка 10 видно что на частоте 1 МГц на положительной полуволне не хватает скорости нарастания для неискаженного усиления сигнала. Можно с уверенностью сказать что реальная FPBW данного усилителя не ниже 800 кГц.

Figure 10 shows that at a frequency of 1 MHz at the positive half-wave there is not enough slew rate for undistorted signal amplification. It is safe to say that the real FPBW of this amplifier is not lower than 800 kHz.

Проведем тест с помощью идеального треугольного сигнала частотой 10 кГц пропущенного через

ФНЧ с частотой среза 500 кГц, рис. 11. Скорость нарастания/спада такого сигнала равна  $60 \text{ В}/100 \text{ мкс} = 0,6 \text{ В}/\text{мкс}$ .

Let's carry out the test using an ideal triangular signal with a frequency of 10 kHz passed through a low-pass filter with a cutoff frequency of 500 kHz, Fig. 11. The slew rate of such a signal is  $60 \text{ В} / 100 \text{ мкс} = 0.6 \text{ В} / \text{мкс}$ .

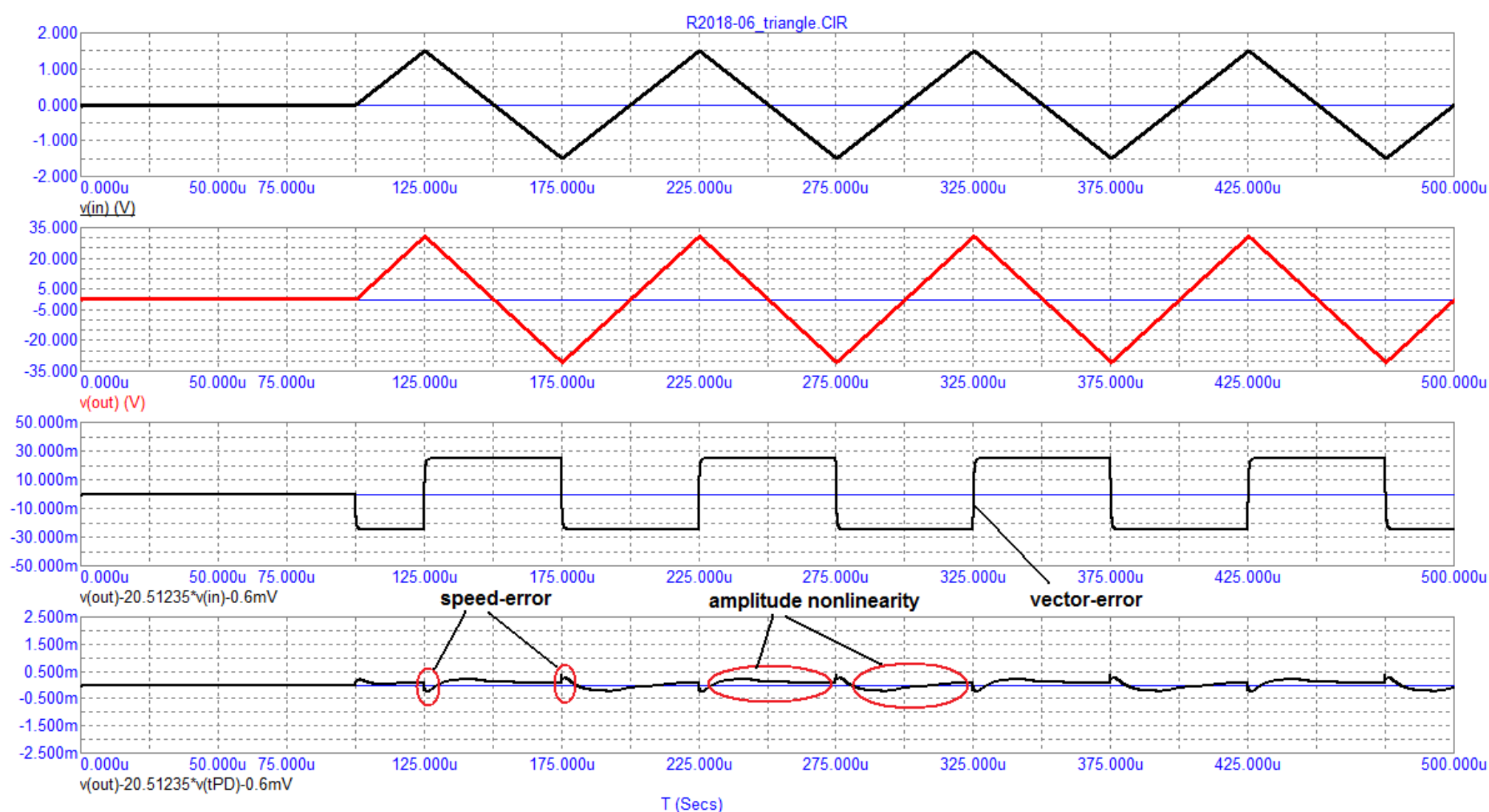


Fig. 11

При вычитании сдвинутых по фазе треугольных сигналов в результате получается меандр амплитуда которого зависит от времени сдвига между сигналами. Чем меньше время задержки — тем меньше амплитуда. Амплитуда меандра есть векторная погрешность [2]. На вершинах треугольного сигнала происходит резкое изменение направления с нарастания напряжения на спад и наоборот. Именно на вершинах сигнала и происходят дополнительные искажения, назовем их скоростными. Их можно измерить с помощью вычитания из выходного напряжения входного напряжения приведенного к выходному умножением на  $K_u$  и задержанного на время прохождения сигнала со входа до выхода усилителя. В результате вычитания мы получаем все виды искажений. Если время задержки прохождения сигнала мало (не более 50...70 нс), то скоростные искажения ничтожно малы и не приводят к заметным искажениям сигнала. В ряде усилителей время задержки прохождения сигнала достигает 1...1,5 мкс (а в ряде случаев и 2 мкс). В таких усилителях благодаря глубокой ООС в установившемся режиме могут быть очень малые нелинейные искажения, но большие скоростные искажения могут приводить к потере микродинамики, к потере послезвучий, к ухудшению прозрачности звучания, к дополнительным интермодуляционным искажениям в виде шумовой подставки.

Subtracting the phase-shifted triangular signals results in a square wave whose amplitude depends on the time shift between the signals. The shorter the delay time, the smaller the amplitude. The amplitude of the meander is a vector error [2]. At the tops of the triangular signal, a sharp change in direction occurs from an increase in voltage to a decrease and vice versa. It is at the signal peaks that additional distortions occur, let's call them high-speed ones. They can be measured by subtracting from the output voltage the input voltage reduced to the output by multiplying by  $K_u$  and delayed by the time the signal travels from the input to the output of the amplifier. As a result of subtraction, we get all kinds of distortions. If the signal transit delay time is small (no more than 50 ... 70 ns), then the rate distortions are negligible and do not lead to noticeable signal distortions. In a number of amplifiers, the signal propagation delay time reaches 1 ... 1.5 μs (and in some cases even 2 μs). In such amplifiers, due to the deep OOS in the steady-state mode, there can be very small nonlinear distortions, but high speed distortions can lead to loss of microdynamics, to loss of seals, to deterioration of sound transparency, to additional intermodulation distortions in the form of noise damping.

Проведем дополнительный тест с помощью сигнала частотой 10 кГц с амплитудной модуляцией 1 кГц, рис. 12

Let's carry out an additional test using a signal with a frequency of 10 kHz with an amplitude modulation of 1 kHz, Fig. 12



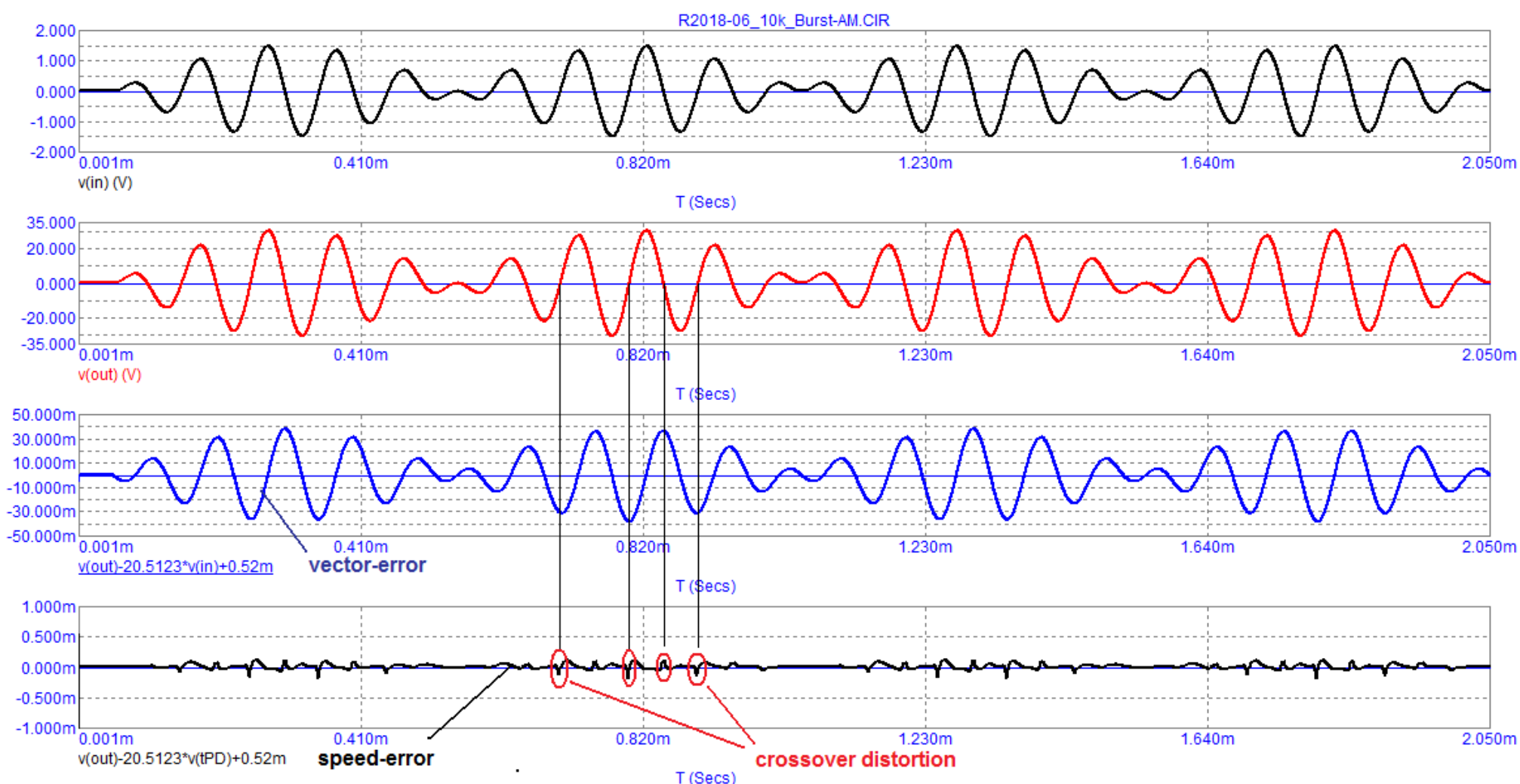


Fig. 12

Виды искажений подписаны на рисунке

На рисунке 4 показан результат измерения искажений в установившемся режиме. Проверим что нам даст измерение на первом периоде как и предлагал Грэм, рис. 13

The types of distortions are labeled in the figure.

Figure 4 shows the result of a steady state distortion measurement. Let's check what the measurement will give us in the first period as suggested by Graham, fig. 13

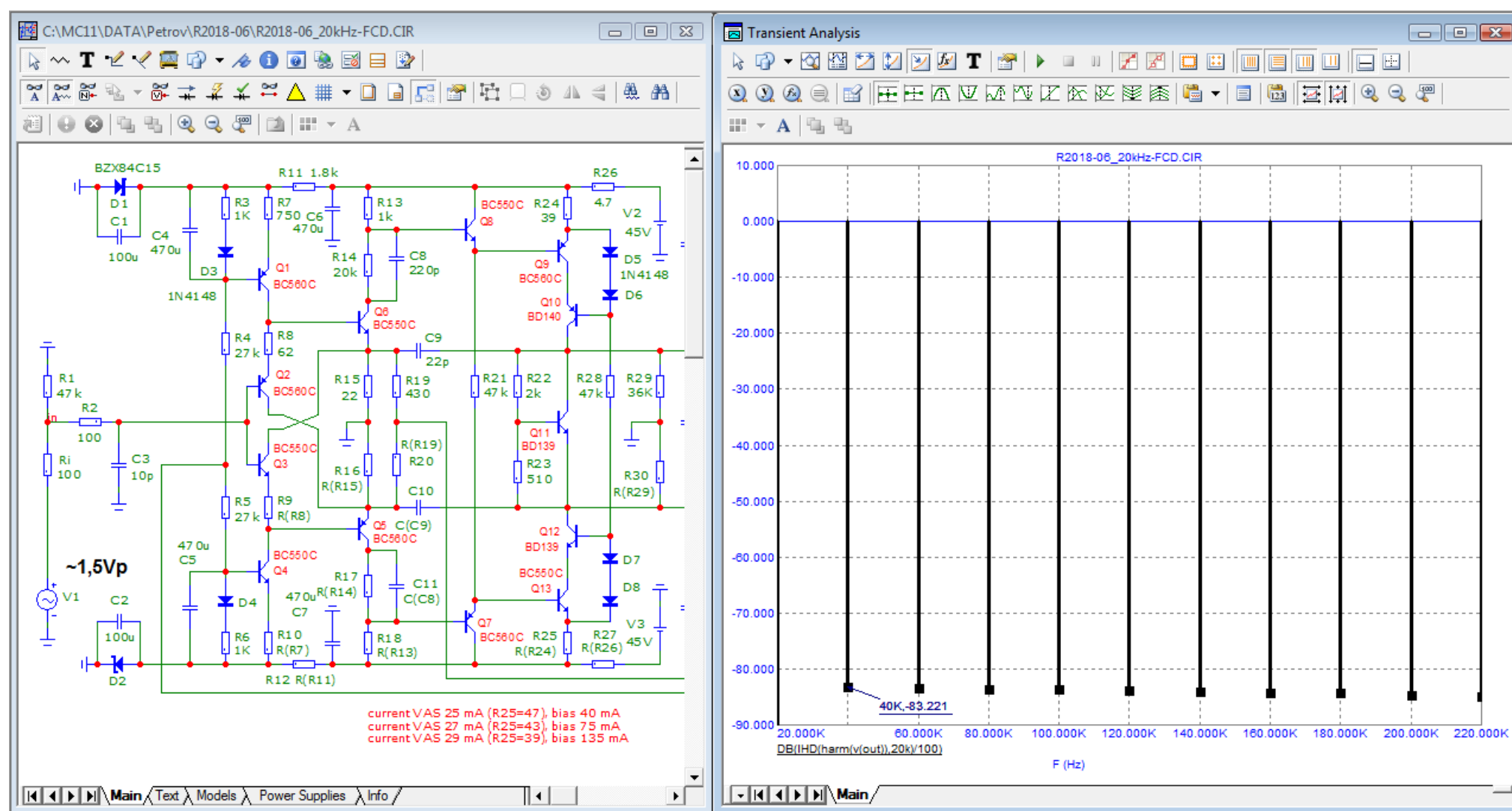


Fig. 13

Из рисунка 13 видно что на частоте 20 кГц 2-я гармоника имеет уровень -83 дБ или 0,007%. Следует отметить что я провел много исследований различных усилителей методом Грэма и должен сказать что подавляющее большинство усилителей имеет уровень искажений на первом периоде от -40 до -60 дБ (0,1...1%), в то время как в установившемся режиме их искажения были ничтожно малыми. Именно искажения на первом периоде и дают косвенную оценку скоростным свойствам усилителей и которые как отмечал Грэм коррелируют с качеством звука.

Figure 13 shows that at 20 kHz the 2nd harmonic has a level of -83 dB or 0.007%. It should be noted that I have carried out a lot of research on various amplifiers using the Graham method and I must say

that the vast majority of amplifiers have a distortion level in the first period from -40 to -60 dB (0.1 ... 1%), while in the steady state their distortion was negligible. It is the distortions in the first period that give an indirect estimate of the speed properties of amplifiers and which, as Graham noted, correlate with the sound quality.

Литература:

1. А.Петров, УМЗЧ с токовой обратной связью, Радио 2018 №6, с.10
2. Jiri Dostal, Operatonal ampliifierrs, Prague Czechoslovakia, 1981

Alexander Petrov