

## Пример анализа модели усилителя Ampzilla (упрощенная версия) Ampzilla Amp Model Analysis Example (Simplified Version)

В качестве подопытного усилителя возьмем упрощенную модель легендарного усилителя Ampzilla. Усилитель был разработан в начале 70-х выдающимся мастером Джимом Бонджорно (Jim Bongiorno). Усилитель был максимально упрощен и приведен по питанию к  $\pm 40$  В как у ранее рассмотренных усилителей.

As an experimental amplifier, let's take a simplified model of the legendary Ampzilla amplifier. The amplifier was developed in the early 70's by the eminent master Jim Bongiorno. The amplifier was simplified as much as possible and the power supply was reduced to  $\pm 40$  V as in the previously considered amplifiers.

Пару слов о мастере: Jim Bongiorno не только хорошо разбирался в звуке, так как был профессиональным музыкантом, но и был гениальным первопроходцем в схемотехнике транзисторных усилителей.

Особенности схемотехники рассмотрим на примере упрощенной модели, рис. 1.

A few words about the master: Jim Bongiorno was not only well versed in sound, as he was a professional musician, but was also a brilliant pioneer in the circuitry of transistor amplifiers.

We will consider the features of circuitry using a simplified model as an example, Fig. 1.

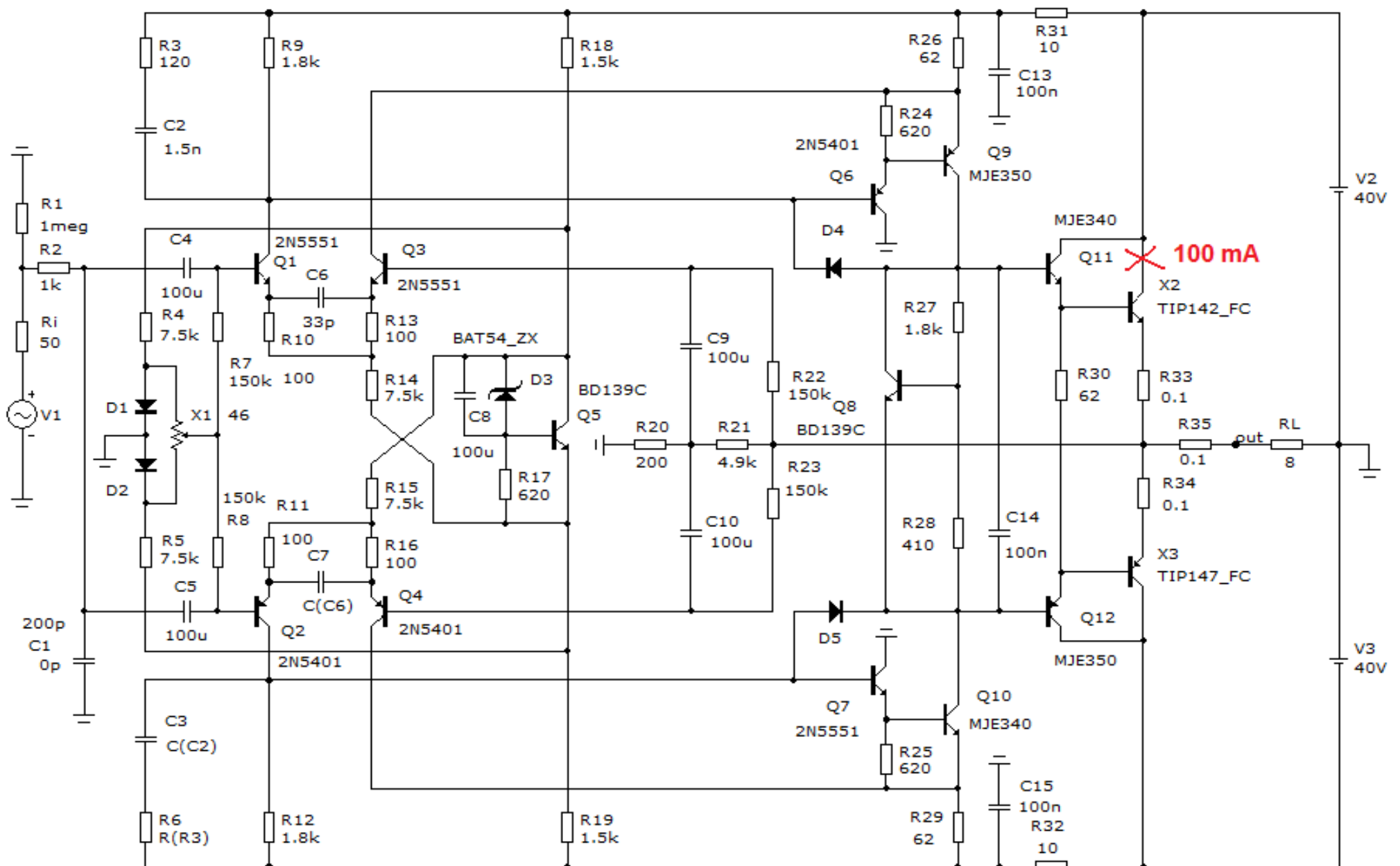


Fig. 1

Схема усилителя симметричная. Во входном каскаде использована небольшая коррекция на опережение (C6, C7) и пассивная коррекция в нагрузке входного плеча дифкаскада R3, C2 (R6, C3). В цепи NFB использованы низкоомные резисторы R20, R21. Диоды D4, D5 служат для исключения насыщения транзисторов усилителя напряжения. Ток покоя выходных транзисторов (bias) регулируют подбором резистора R28. Подавляющее большинство усилителей нуждается в дросселе на выходе для обеспечения устойчивой работы. Но как говорил Graham Maynard от дросселя часто больше вреда чем пользы, так как он может образовывать последовательный колебательный контур с реактивной нагрузкой.

Следующая особенность заключается в том что входы дифкаскадов каждого плеча усилителя работают самостоятельно. За счет этого конденсаторы C4, C5, C9, C10 имеют поляризацию 1...2 Вольта которая уменьшает искажения электролитических конденсаторов.

The amplifier circuit is symmetrical. In the input stage, a small advance correction (C6, C7) and passive correction in the load of the input arm of the differential cascade R3, C2 (R6, C3) are used. In the NFB circuit, low-resistance resistors R20, R21 are used. Diodes D4, D5 serve to exclude saturation of the voltage amplifier transistors. The quiescent current of the output transistors (bias) is regulated by selecting the resistor R28. The vast majority of amplifiers need an output choke to ensure stable operation. But as Graham Maynard said, the choke is often more harm than good, since it can form a serial oscillatory circuit with a reactive load.

The next feature is that the inputs of the differential stages of each amplifier arm work independently. Due to this, capacitors C4, C5, C9, C10 have a polarization of 1 ... 2 Volts, which reduces the distortion of electrolytic capacitors.

Снимем типовую диаграмму Боде без входного фильтра НЧ (C1=0), рис. 2. Поскольку программа Microcap позволяет одновременно просчитывать и Group Delay, то заодно выведем и этот график.

Let's remove a typical Bode diagram without an input low-pass filter (C1 = 0), Fig. 2. Since the Microcap program allows calculating the Group Delay at the same time, we will also display this graph.

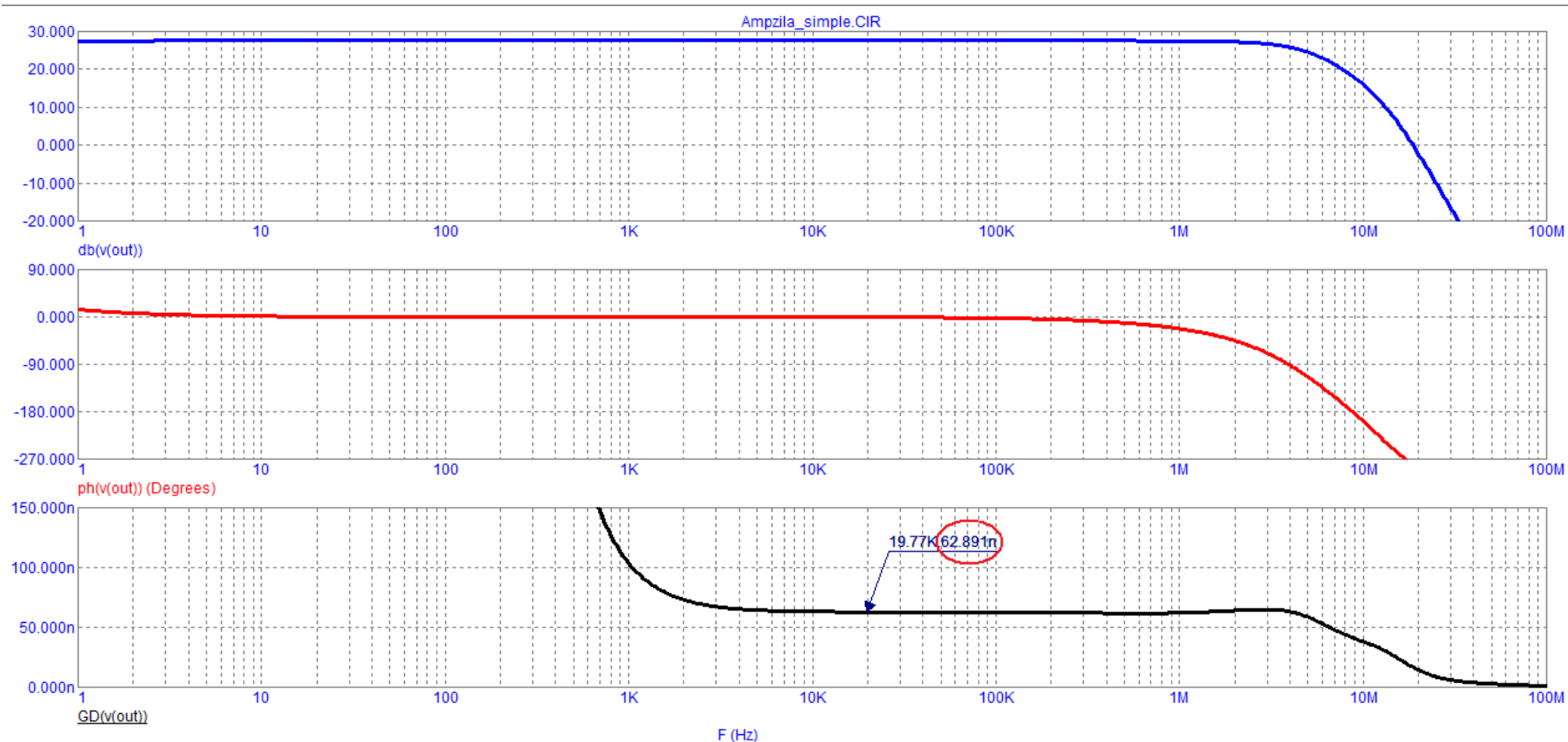


Fig. 2

Как видим из графика Group Delay равно 62 нс. График GD имеет горизонтальный участок до нескольких МГц. В конце графика имеет место плавный спад.

Следующий важный график — график петлевого усиления, отвечает за устойчивость работы усилителя, рис. 3

As you can see from the graph, the Group Delay is 62 ns. The GD plot has a horizontal section up to several MHz. There is a gradual decline at the end of the chart.

The next important graph is the loop gain graph, which is responsible for the stability of the amplifier, Fig. 3

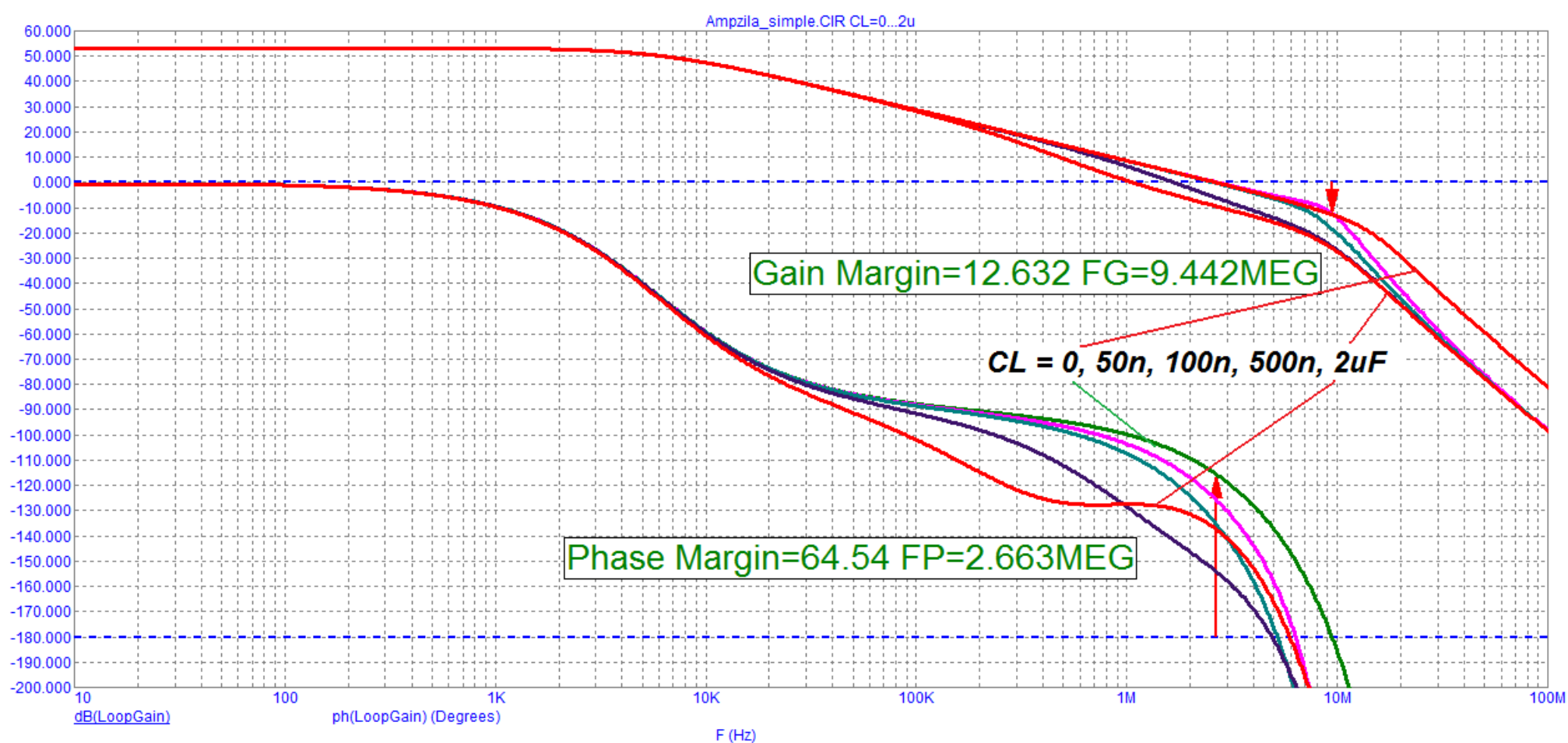


Fig. 3

Из графика петлевого усиления видно что усилитель абсолютно устойчив на любой реактивной нагрузке. Глубина NFB на частоте 20 кГц более 40 дБ.

Следующий традиционно измеряемый параметр это THD или спектр на частоте 1 кГц, иногда на частоте 10 или 20 кГц. Посмотрим спектр сигнала частотой 10 кГц на выходе усилителя, рис. 4

The loop gain graph shows that the amplifier is absolutely resistant to any reactive load. NFB depth at 20 kHz is more than 40 dB.

The next commonly measured parameter is THD or spectrum at 1 kHz, sometimes at 10 or 20 kHz. Let's look at the spectrum of a signal with a frequency of 10 kHz at the amplifier output, Fig. 4

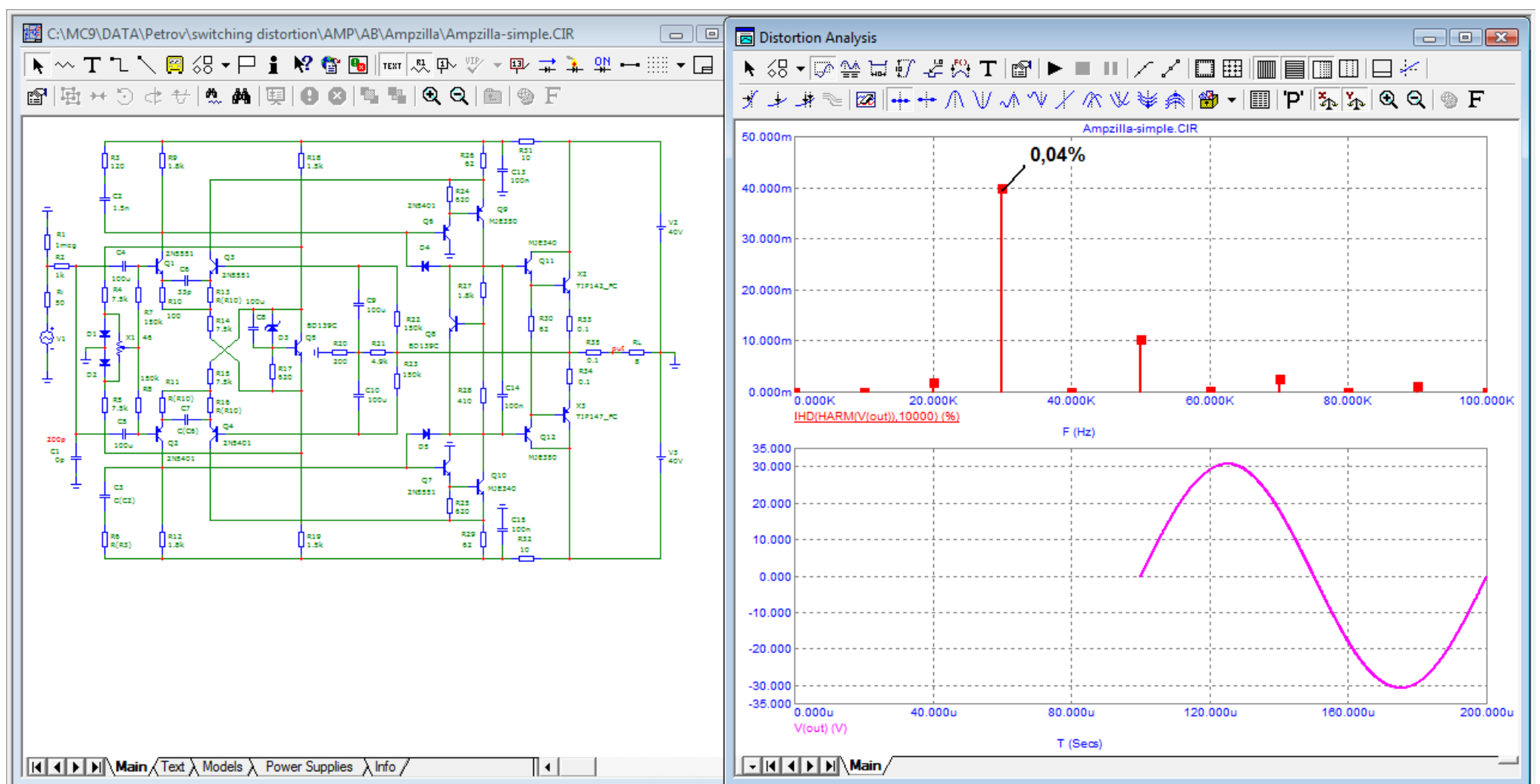


Fig. 4

Как видно из теста спектр спадающий, в спектре преимущественно 3-я гармоника.

Следующий традиционно проводимый тест это тест на IMD, рис. 5

As can be seen from the test, the spectrum is falling, in the spectrum there is mainly the 3rd harmonic.

The next traditionally performed test is the IMD test, fig. 5

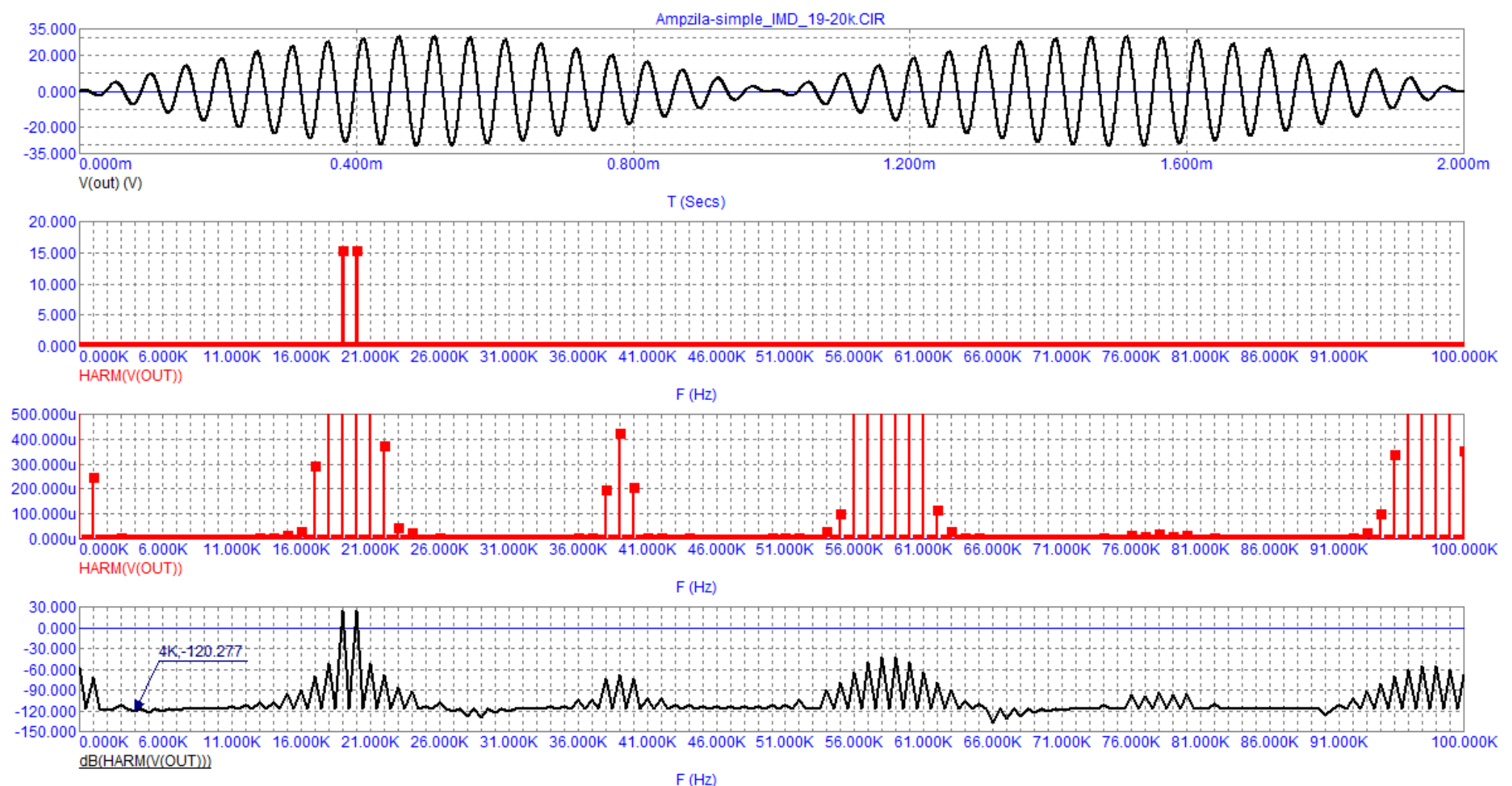


Fig. 5

Из теста следует что IMD первого порядка (сигнал частотой 1 кГц) имеет уровень 0,25 мВ. Вблизи основных сигналов есть несколько других продуктов IMD, но они будут хорошо замаскированы полезными сигналами. Остальные продукты IMD в звуковом диапазоне ниже полезных сигналов примерно на 140 дБ.

It follows from the test that the IMD of the first order (signal with a frequency of 1 kHz) has a level of 0.25 mV. There are several other IMD products in the vicinity of the main signals, but these will be well masked by the useful signals. The rest of the IMD products in the audio range are below the useful signals by about 140 dB.

Проверим усилитель на коммутационные искажения (рис. 6) с помощью специально разработанного для этой цели фильтра

Let's check the amplifier for switching distortion (Fig. 6) using a filter specially designed for this purpose.



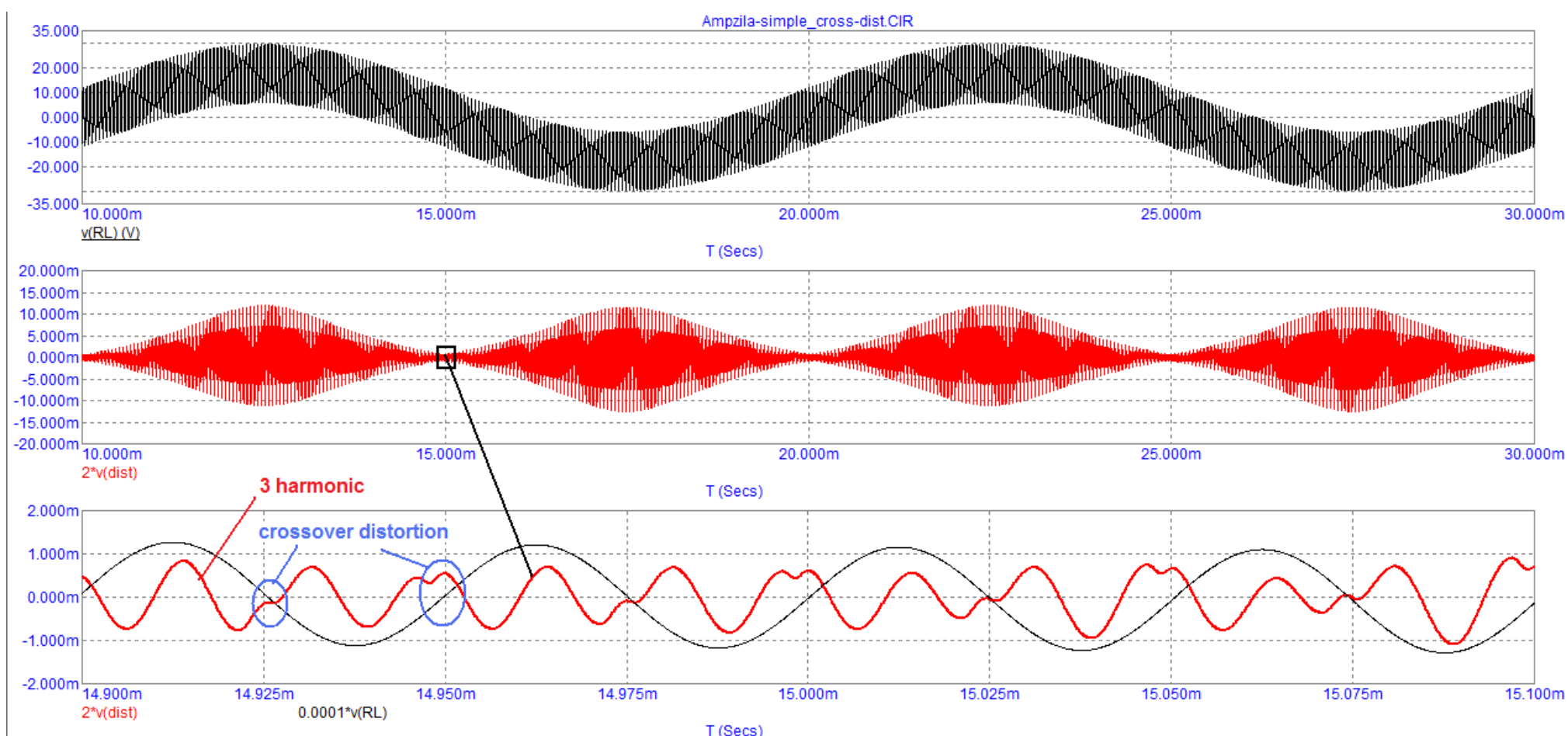


Fig. 6

Как показывает тест в усилителе преобладает 3-я гармоника, коммутационные искажения ничтожно малы и носят мягкий характер.

Очень надеюсь что тесты проведенные выше понятны всем, даже начинающим радиолюбителям.

Дополнительно проведем тест для проверки начала усиления сигнала частотой 20 кГц, рис. 7

As the test shows, the 3rd harmonic prevails in the amplifier, switching distortions are negligible and are of a soft nature.

I really hope that the tests carried out above are clear to everyone, even to novice radio amateurs.

Additionally, we will conduct a test to check the beginning of the amplification of the signal with a frequency of 20 kHz, Fig. 7

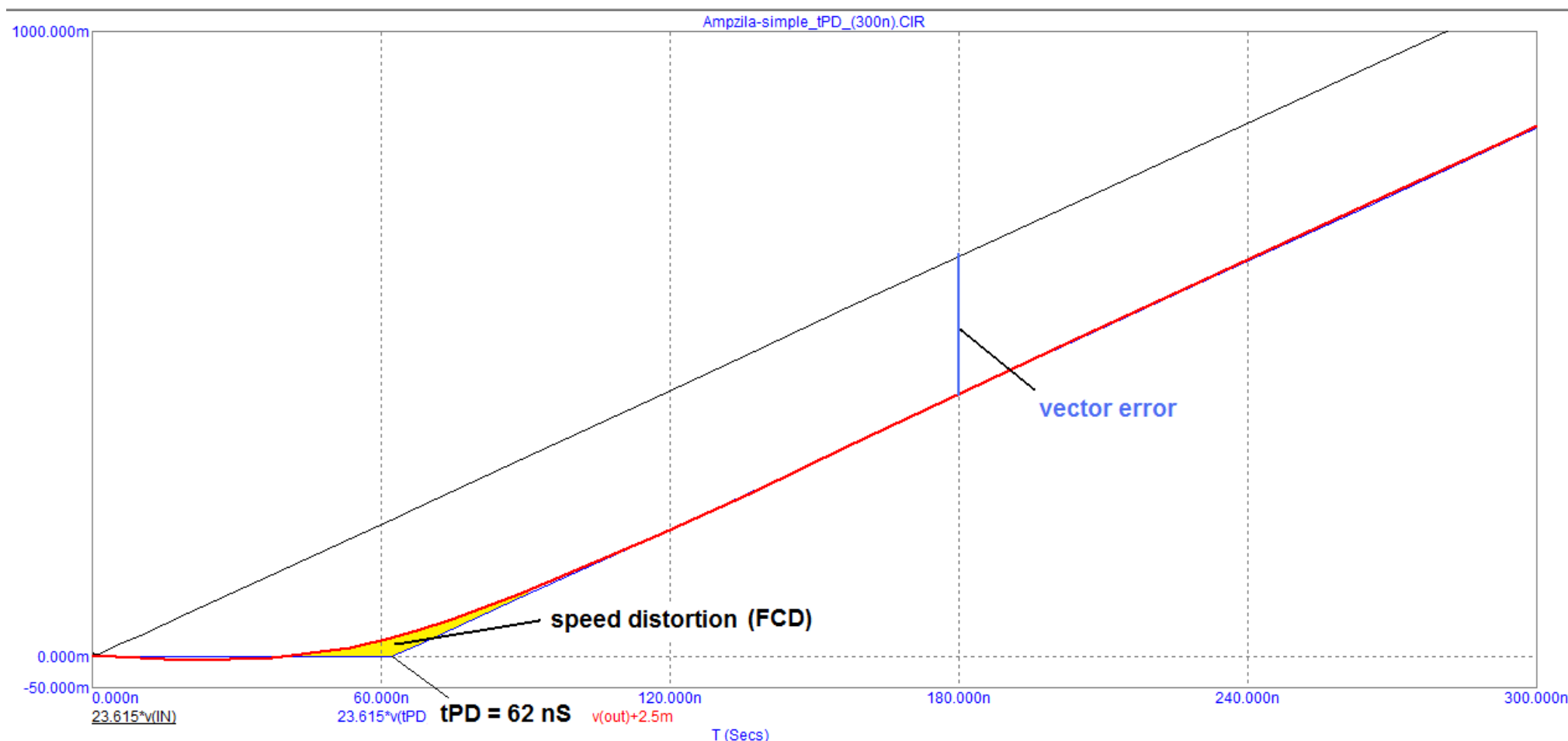


Fig. 7

Как показывает тест время выхода на установившийся режим занимает менее 100 нс при Gdelay равном 62 нс. Благодаря большой протяженности горизонтального участка GD и плавному спаду в конце характеристики на синусоиде нет искажений колебательного характера. Скоростные искажения выделенные желтым цветом ничтожно малы.

В дополнение проверим как усиливается сигнал частотой 1 МГц, рис. 8

As the test shows, the time to reach the steady state takes less than 100 ns with Gdelay equal to 62 ns. Due to the large length of the horizontal section GD and a smooth slope at the end of the characteristic, there is no oscillatory distortion on the sinusoid. Velocity distortions highlighted in yellow are negligible.

In addition, let us check how the 1 MHz signal is amplified, Fig. 8

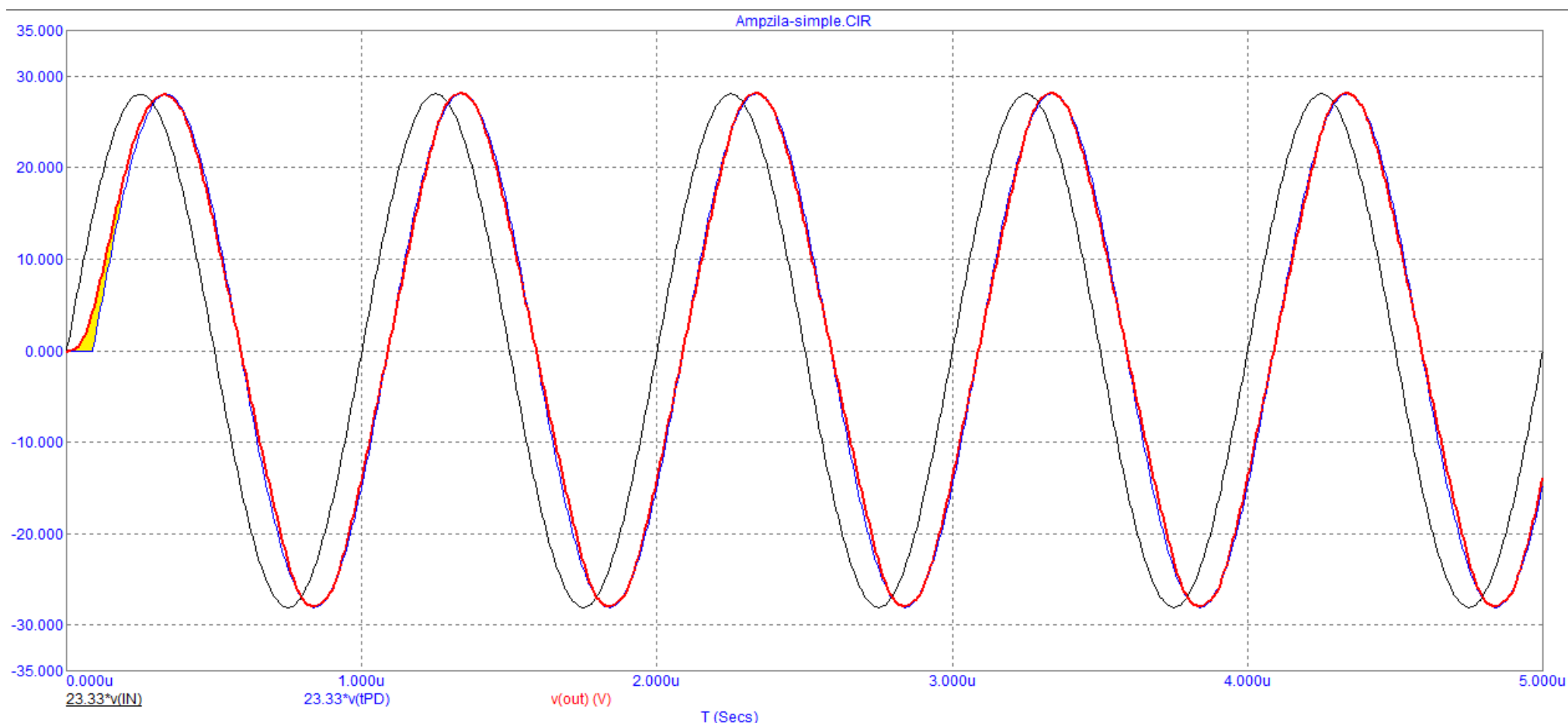


Fig. 8

Начиная со второго периода уже не видно заметных искажений.  
Starting from the second period, noticeable distortions are no longer visible.

Я в очередной раз показал что для получения малых искажений уже начиная с первого периода сигнала (это то что пытался донести Graham Maynar своим FCD) необходимо добиваться как можно меньшего значения Gdelay как в звуковом диапазоне, так и за его пределами.

Что касается фильтра НЧ на входе усилителя, то даже в то далекое время Jim Bongiorno использовал фильтр с частотой среза 800 кГц (в 5 раз выше традиционно применяемого сегодня).

I once again showed that in order to obtain small distortions already starting from the first signal period (this is what Graham Maynar tried to convey with his FCD), it is necessary to achieve the lowest possible Gdelay value both in the audio range and beyond.

As for the low-pass filter at the input of the amplifier, even at that distant time Jim Bongiorno used a filter with a cutoff frequency of 800 kHz (5 times higher than traditionally used today).

В соответствии с расчетами Иржи Достала для неискаженной передачи сигналов в области НЧ полоса пропускания снизу должна быть такой чтобы прямоугольный сигнал частотой 20 Гц усиливался без явно выраженного завала полок. В дополнение проверим как усиливается такой сигнал, рис. 9

In accordance with the calculations of Jiri Dostal for undistorted signal transmission in the low-frequency region, the passband from the bottom should be such that a square-wave signal with a frequency of 20 Hz is amplified without a pronounced blockage of the shelves. In addition, let us check how such a signal is amplified, Fig. 9

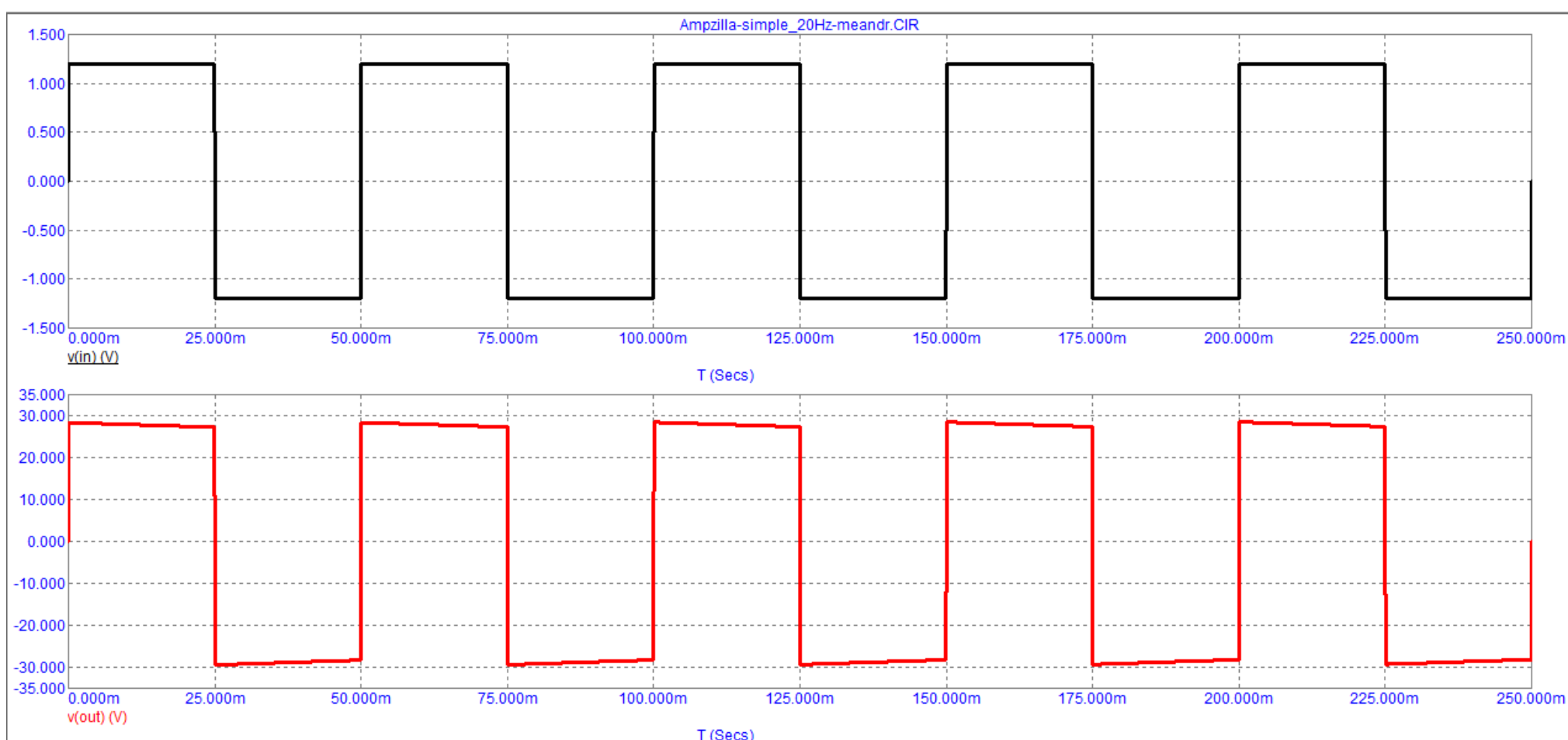


Fig. 9

A brief analysis was carried out  
Petr