

Скоростные искажения *Velocity distortion (Speed error)*

Рассмотрим проявление скоростных искажений на примере модели усилителя Apex HD50, рис. 1

Let's consider the manifestation of speed distortions on the example of the Apex HD50 amplifier model, Fig. 1

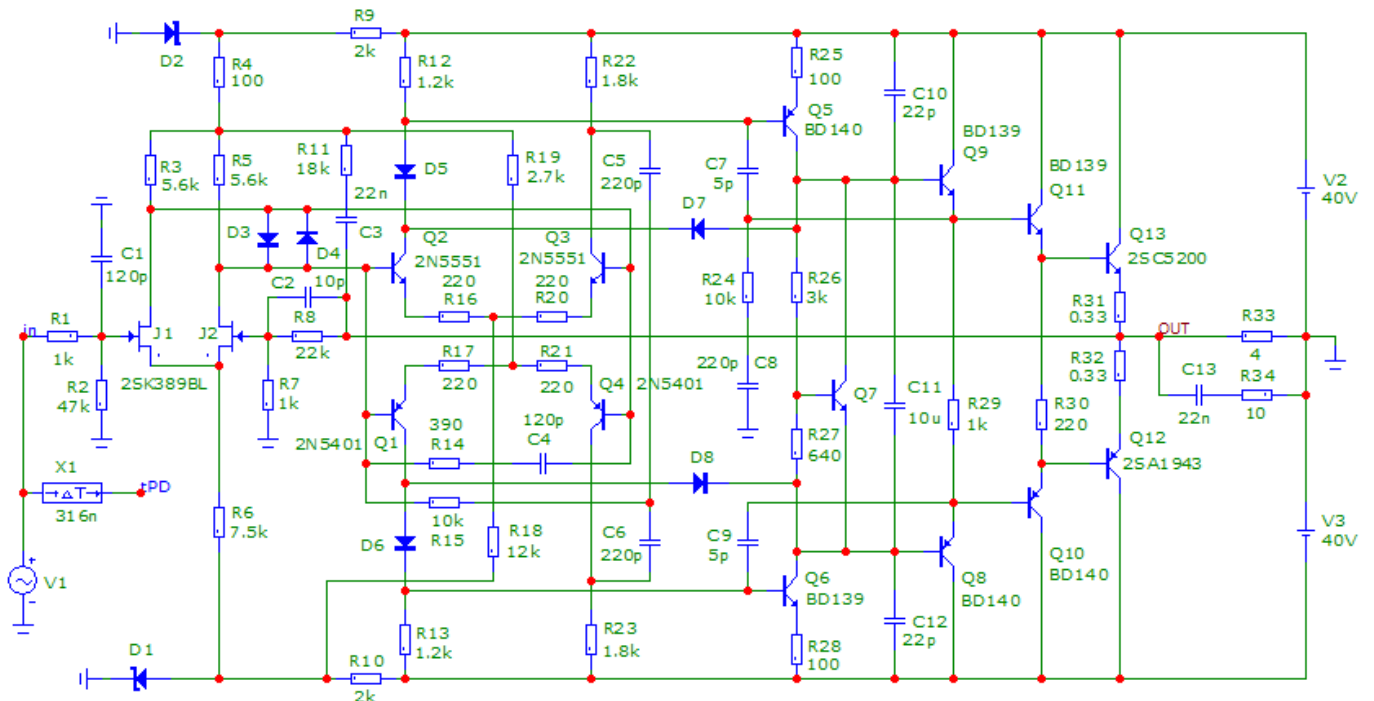


Fig. 1

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

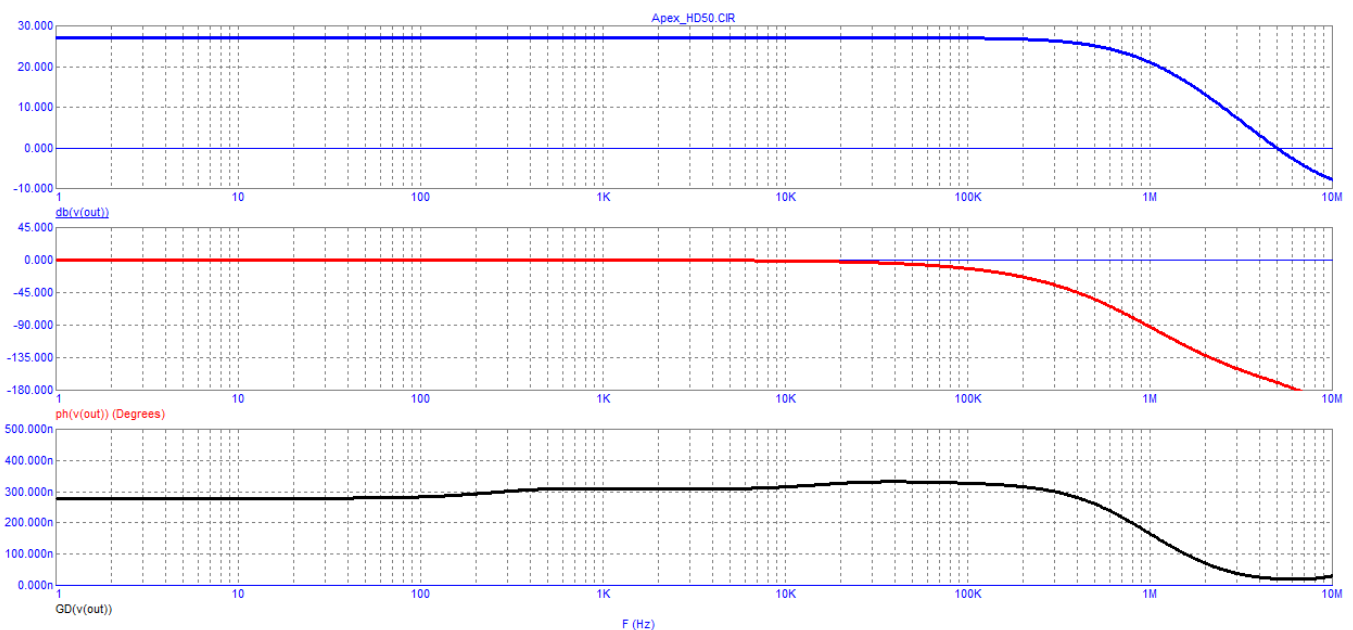


Fig. 2

Так как усилитель постоянного тока, то его групповое время задержки почти постоянно от инфранизких частот до 200 кГц, групповое время задержки на частоте 20 кГц составляет 316 нс. При $C1=0$ $GD=200$ нс.

Since the amplifier is a DC amplifier, its group delay is almost constant from sub-low frequencies to 200 kHz, the group delay at 20 kHz is 316 ns. If $C1=0, GD=200\text{ ns}$

Проверим петлевое усиление и запасы устойчивости, рис. 3
Let's check the loop gain and stability margins, Fig. 3

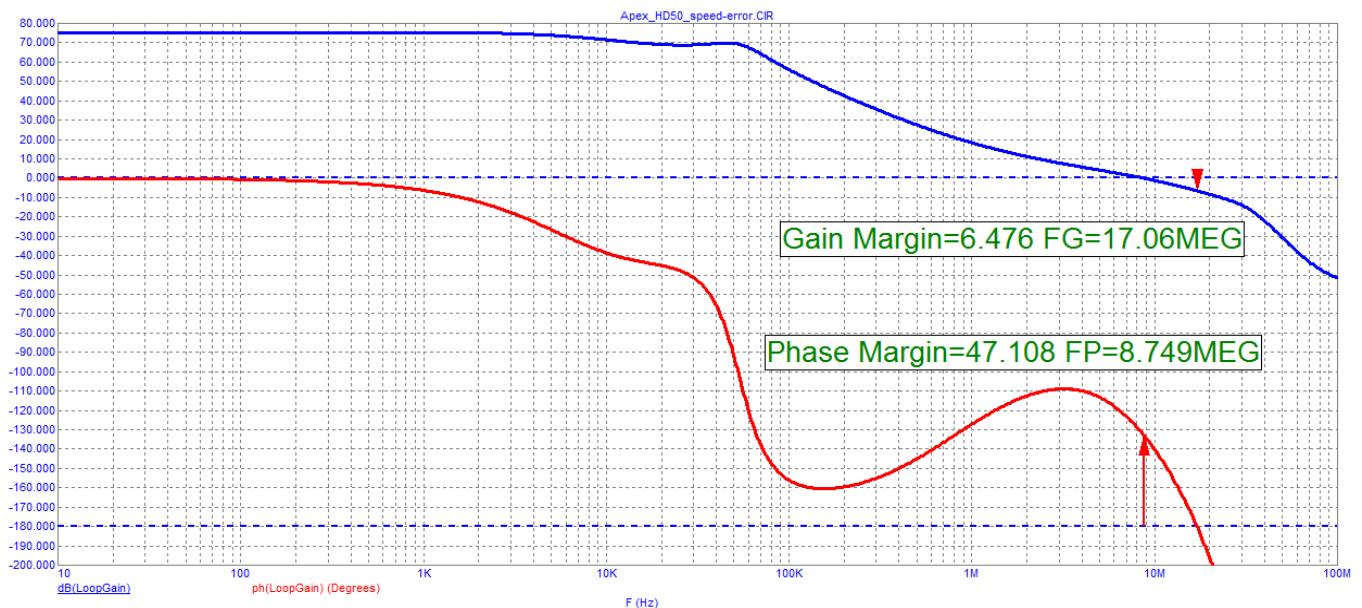


Fig. 3

Петлевое усиление в звуковой полосе частот не менее 70 дБ благодаря высокой частоте первого полюса равной 20 кГц.

Loop gain in the audio band of at least 70 dB due to the high frequency of the first pole equal to 20 kHz.

Проверим спектр искажений на частоте 20 кГц, рис. 4

Let's check the spectrum of distortions at a frequency of 20 kHz, Fig. 4

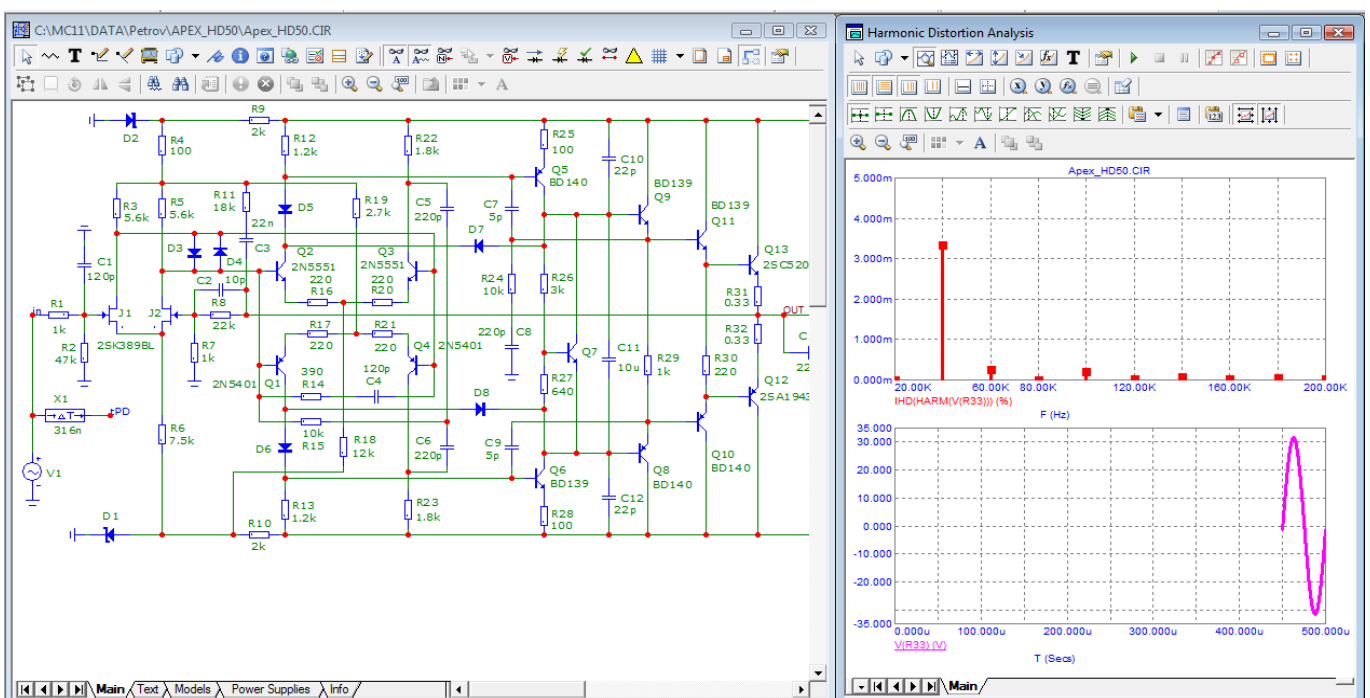


Fig.4

Из рисунка 4 видно что в установившемся режиме в спектре искажений сигнала частотой 20 кГц при амплитуде выходного напряжения 32 В(пик) практически одна вторая гармоника уровнем 0,0033%.

Figure 4 shows that in the steady-state mode, in the spectrum of signal distortions with a frequency of 20 kHz and an output voltage amplitude of 32 V (peak), there is practically one second harmonic at a level of 0.0033%.

Подадим на вход усилителя сигнал частотой 20 кГц амплитуда которого меняется во времени ступенями и измерим векторные и скоростные искажения, рис. 5

Let's apply a signal with a frequency of 20 kHz to the amplifier input, the amplitude of which changes in time in steps and measure the vector and speed distortions, Fig. 5

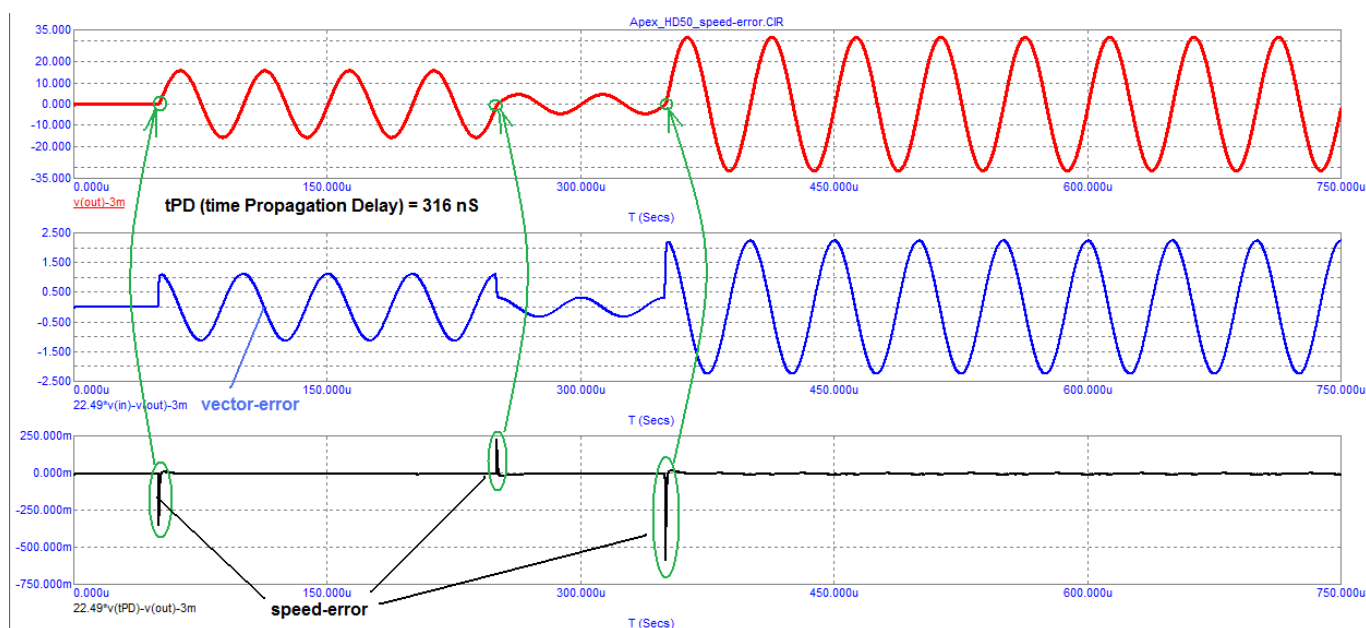


Fig. 5

Красным цветом отображен выходной сигнал. На втором графике показаны векторные искажения измеренные методом [1], и на третьем графике показан результат измерения скоростных искажений методом [2]. Из рисунка видно что скоростные искажения возникают в местах изменения амплитуды сигнала, т. е. в узлах сигнала где происходит отклонение сигнала от синусоиды постоянной амплитуды.

The output signal is displayed in red. The second graph shows the vector distortions measured by the method [1], and the third graph shows the result of measuring the velocity distortions by the method [2]. It can be seen from the figure that the rate distortions occur at the places where the signal amplitude changes, i.e., at the signal nodes where the signal deviates from the sinusoid of constant amplitude.

Чем меньше амплитуда сигнала, тем больше относительный уровень скоростных искажений. Например, при переходе амплитуды сигнала с 15 В на 4 В (1 Ватт, узел 2) пиковое значение скоростных искажений составляет 0,25 В или 6,25%! А в узле 3 почти в три раза больше! В то время как гармонические искажения на частоте 20 кГц при выходной мощности 1 Ватт не превышают 0,002%, а при полной мощности не более 0,004%. И это в

усилителе у которого без конденсатора C1 время задержки прохождения сигнала всего 200 нс.

The smaller the signal amplitude, the greater the relative level of speed distortion. For example, when the signal amplitude goes from 15 V to 4 V (1 Watt, node 2), the peak value of the rate distortion is 0.25 V or 6.25%! And in node 3 it is almost three times more! While harmonic distortion at a frequency of 20 kHz with an output power of 1 W does not exceed 0.002%, and at full power it does not exceed 0.004%. And this is in an amplifier with no capacitor C1, the signal propagation delay time is only 200 ns.

Аналогичным образом можно промоделировать сигнал в котором амплитуда постоянна, а изменяется только его частота и убедиться что в узлах изменения частоты также возникают скоростные искажения, рис. 6.

In a similar way, you can simulate a signal in which the amplitude is constant, but only its frequency changes and make sure that speed distortions also occur in the nodes of frequency change, Fig. 6.

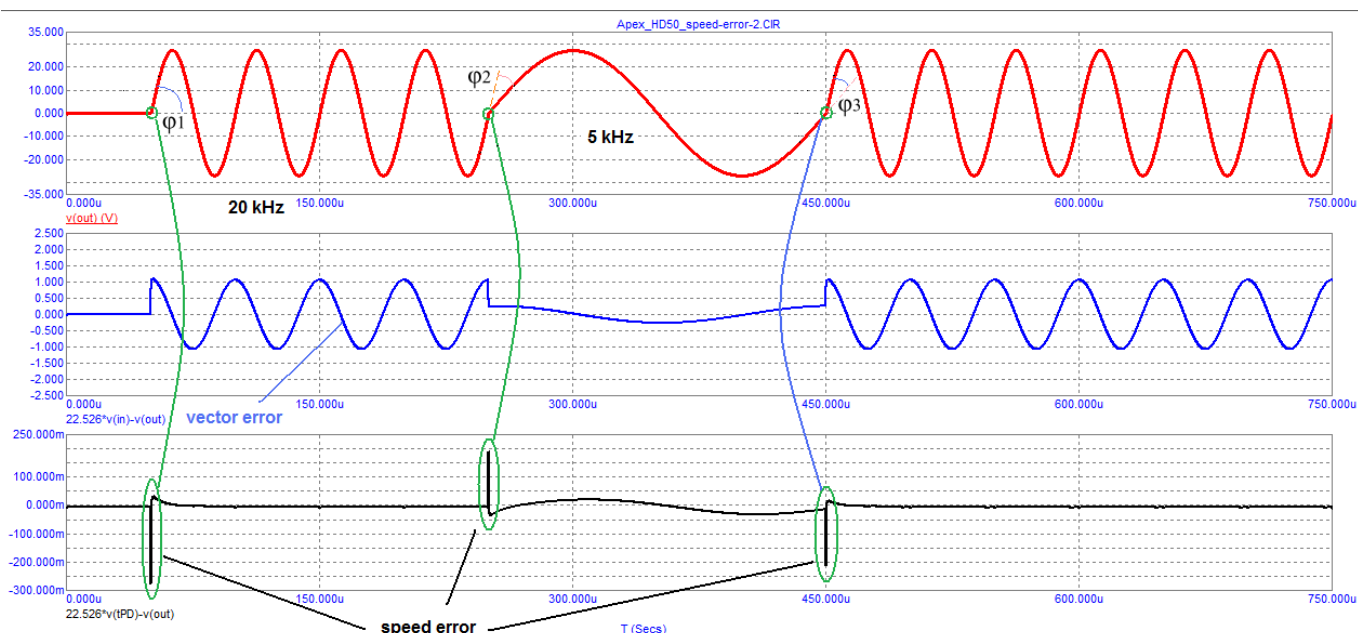


Fig. 6

Чем больше угол поворота касательной линии к напряжению в узле изменения частоты или амплитуды сигнала тем больше уровень скоростных искажений.

The greater the angle of rotation of the tangent line to the voltage at the node where the frequency or amplitude of the signal changes, the greater the level of speed distortion.

Аналогичный тест с сигналом пропущенным через ФНЧ 30 кГц, рис. 7
A similar test with a signal passed through a 30 kHz LPF, Fig. 7

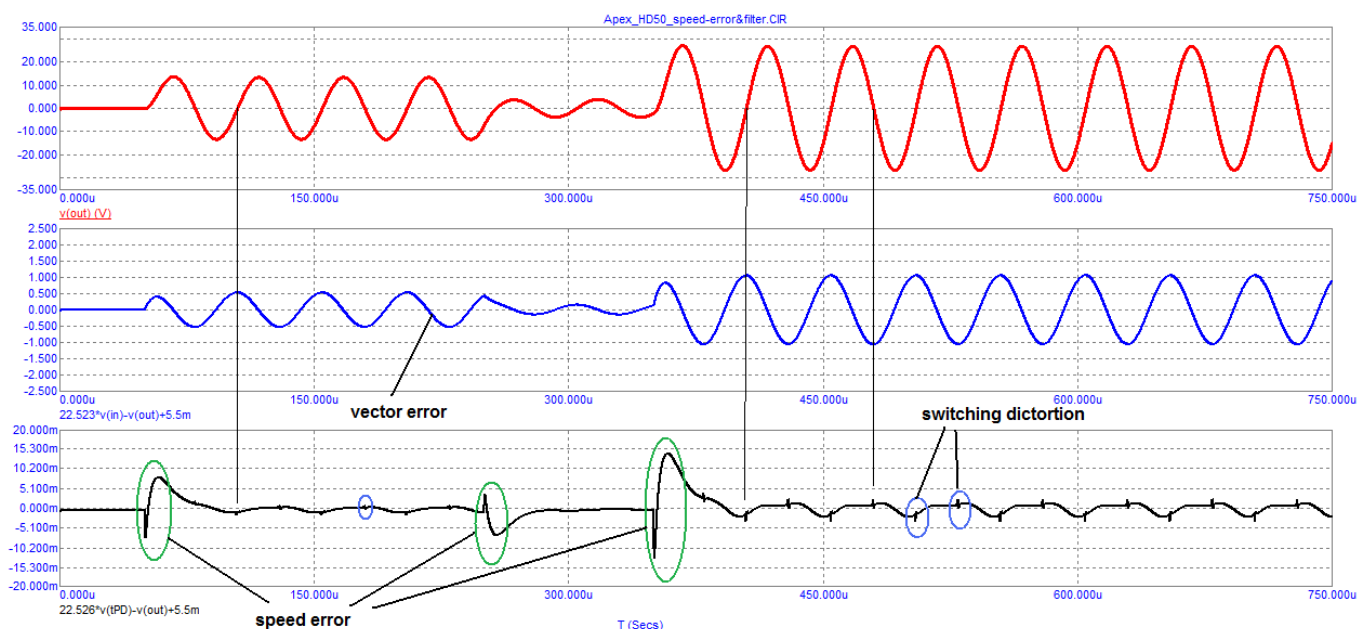


Fig. 7

Обработка сигнала фильтром практически не сказывается на векторных искажениях и смазывает проявление скоростных искажений

Signal processing by a filter has practically no effect on vector distortions and smears the manifestation of speed distortions

А теперь представьте себе что в музыкальном сигнале постоянно изменяется как амплитуда сигнала так и его частота, при этом непрерывно возникают скоростные искажения значительного уровня, причем чем больше время задержки прохождения сигнала, тем больше эти искажения.

Now imagine that both the amplitude of the signal and its frequency are constantly changing in a music signal, while high-speed distortions of a significant level continuously appear, and the longer the Propagation Delay time, the greater these distortions.

Следует отметить что нередко можно встретить усилители имеющие малые нелинейные искажения которые никак не коррелируют с качеством звука. В то же время усилители с временем задержки прохождения сигнала 1 мкс и более не редкость.

It should be noted that you can often find amplifiers with small non-linear distortions that do not correlate with sound quality in any way. At the same time, amplifiers with a signal transit time of 1 μ s or more are not uncommon.

Литература:

1. И.Достал, Операционные усилители, 1982
2. P.J.Baxandall, "Audible amplifier distortion is not a mystery." Wireless World, November 1977, pp 63 — 66.

Literature:

1. Dostal, Operational Amplifiers, 1982
2. P.J.Baxandall, "Audible amplifier distortion is not a mystery." Wireless World, November 1977, pp 63 — 66.

Александр Петров
16 ноября 2020 года
Alexander Petrov
November 16, 2020