

6.4 Компьютерные расчёты нелинейных искажений в транзисторных усилителях

Предполагается оценить уровни гармонических искажений на компьютерных моделях транзисторных усилителей двух типов. Анализ искажений запускается командой *Analysis>Harmonic Distortion* или *Alt+8*. Анализ искажений (*Distortion*) представляет собой разновидность анализа переходных процессов. При этом виде анализа ко входам схемы подключается источник гармонического напряжения (тока), а на выходе измеряются искажения сигнала путём использования функций спектрального анализа, например *IHD (Individual Harmonic Distortion)*.

Когда сигнал идеальной гармонической формы прикладывается ко входу линейной схемы, сигнал на выходе тоже будет представлять идеальный гармонический сигнал с той же частотой. Спектральные составы сигналов на входе и на выходе в этом случае одинаковы, за исключением, возможно, значений амплитуд и фаз.

Таким образом, случай прохождения гармонического сигнала и сигнала сложной формы через линейную схему соответствует отсутствию нелинейных искажений.

Если схема не является абсолютно линейной, то на выходе появятся сигналы с частотами, кратными частоте входного синусоидального сигнала. В результате выходной сигнал обогатится высшими гармониками. Это и есть проявление нелинейных искажений, вносимых схемой в передаваемый сигнал. Функция спектрального анализа *IHD* рассчитывает отношение в процентах амплитуды указанной высшей гармоники к амплитуде первой гармоники, т.е. определяет вклад каждой гармоники в общий коэффициент нелинейных искажений (коэффициент гармоник).

Данный вид анализа предоставляет пользователю дополнительные удобства при анализе усилительных схем на предмет нелинейных искажений. Отметим, что все функции, доступные при использовании этого вида анализа, могут быть запрограммированы в режиме *Transient* с помощью опций *FFT* и функций спектрального анализа. Однако их правильный ввод и установка опций *FFT* требуют специальных знаний и развитых навыков работы с пакетом *Micro-Cap*.

Для проведения анализа искажений ко входу схемы обязательно должен быть подключен источник синусоидального сигнала (*Sine Source* или *SPICE*-источники: *Voltage Source*, *Current Source*). Все параметры источника входного сигнала устанавливать необязательно, поскольку амплитуда и частота выбираются в диалоговом окне *Distortion Analysis Limits*.

Для демонстрации и объяснения установок данного вида анализа рассмотрим два примера расчёта искажений:

- операционного усилителя типа *UA709* (см. каталог *DATA* программного пакета *Micro-Cap 10*);
- широкополосного резистивного усилителя на БТ (см. рис. 6.1).

6.5 Компьютерный расчёт нелинейных искажений в широкополосном усилителе на интегральном ОУ типа UA709

Принципиальная схема такого усилителя с нагрузкой $R_{20} = 100 \text{ кОм}$, подключенной к выходному узлу 24, изображена на рис. 6.8.

Такой усилитель обеспечивает номинальный коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = -\frac{R_{11}}{R_{10}} = -100.$$

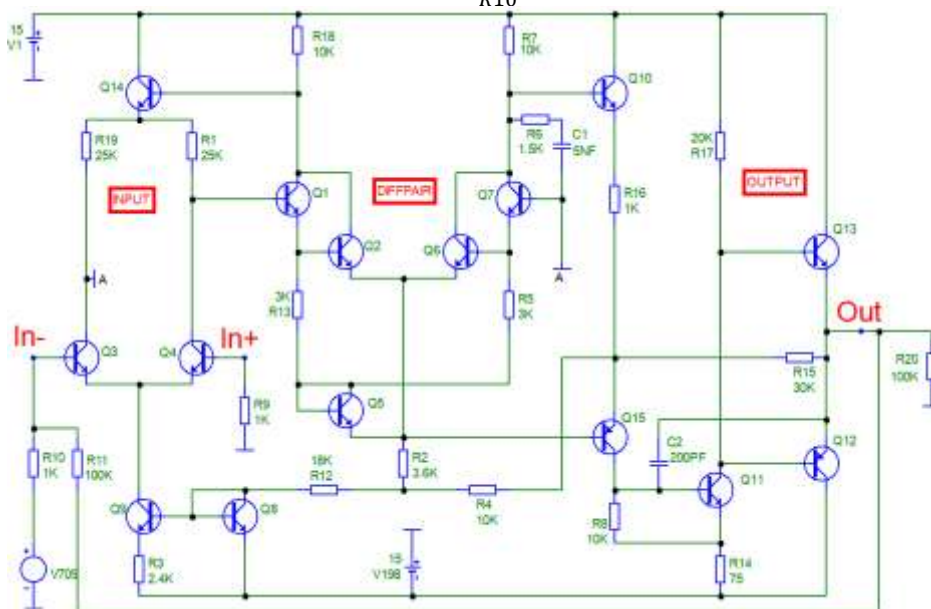


Рис. 6.8

Диалоговое окно *Harmonic Distortion Analysis Limits* (рис. 6.9) имеет следующие основные поля для ввода исходных данных:

- *Fundamental Frequency* (базовая частота) – это частота гармонического сигнала, используемая при анализе искажений. По этому значению устанавливается частота входного синусоидального источника при выполнении анализа (*установим 10kHz*).

- *Name of Input Source* – имя источника входного сигнала, в качестве которого могут выступать независимые источники *Pulse*, *Sine* или *Voltage Source* и *Current Source* синусоидальной формы. Его присутствие на входе схемы обязательно для данного вида анализа [V709].

- *Input Source Amplitude* – диапазон или список значений амплитуд сигнала входного источника, при которых будет производиться анализ искажений:

- *List*. Список значений амплитуд, в котором перечисление ведётся через запятую, например (*установим 150m, 50m, 10mV*).

- *Linear*. Задание линейного диапазона изменения амплитуды с определённым шагом: *End, Start, Step*. Пример: 1.0, 0.5, 0.1.

- *Log*. Задание логарифмического диапазона изменения амплитуды *End, Start, Multiplier*. Пример: 1.0, 0.01, 10.

Если необходимо в дополнение варьировать другой параметр, то можно сделать соответствующие установки в диалоговом окне *Stepping*:

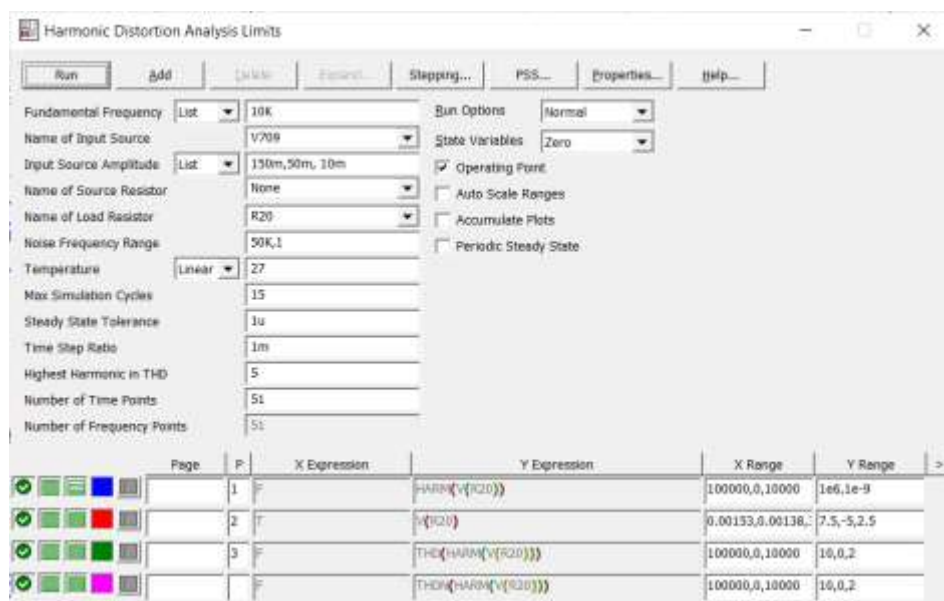


Рис. 6.9

- *Name of Load Resistor* – такой резистор должен быть обязательно подключен к выходному узлу схемы (*установим R20*).

- *Noise Frequency Range* – частотный диапазон шумов.

- *Temperature* – задаёт значения температуры, при которых производится анализ согласно принятому в программе формату варьирования параметров.

• *Max Simulation Cycles* – максимальное число периодов гармонического сигнала основной частоты, в течение которых выполняется расчёт переходных процессов. Этого времени должно быть достаточно для выхода схемы на установившийся режим; для большинства случаев достаточно 10 периодов сигнала основной гармоники (**установим 15**).

• *Time Step Ratio* – рекомендуемая величина шага по времени, используется при расчёте переходных процессов. Обычно устанавливается в пределах от 0,001 до 0,01 от полного времени анализа для получения достаточной точности расчёта отклика на выходе ([1m]).

• *Highest Harmonic in THD* – наивысшая гармоника при расчёте коэффициента нелинейных искажений ([5]).

• *Number of Time Points* – количество расчётных точек (узлов) по времени([51]).

• *Number of Frequency Points* – число расчётных точек по частоте.

Остальные параметры в этом окне задаются по умолчанию.

Ряд функций спектрального анализа, используемых для характеристики нелинейных искажений, содержит три функции, которые уже имеются в окне графиков (см. рис. 6.9):

- *HARM (V(R20))* – расчёт амплитуды гармоник сигнала на выходе усилителя (выходной амплитудный спектр);

- *V(R20)* – временная диаграмма выходного напряжения;

- *THD (HARM (V(R20)))* – общий коэффициент нелинейных искажений амплитудного спектра в процентах относительно уровня составляющей на базовой частоте F .

Последние графики: *THDN (HARM (V(R20)))* позволяет рассчитать искажения выходного сигнала с учетом шумов схемы, а *HARM (I(V709))* – искажения входного тока источника при нелинейной нагрузке.

В нашем примере на вход усилителя подаётся гармонический сигнал с частотой **10 кГц** и амплитудой **150 мВ, 50 мВ, 10 мВ** от источника V709, в качестве которого используется синусоидальный источник напряжения формата *SPICE*. На графики (рис. 6.10) выводятся временная диаграмма выходного напряжения **V(R20)** на среднем графике в интервале от 1,4 до 1,5 мс (последний 15-й рассчитанный период), амплитуды гармоник выходного напряжения (функция *HARM*) верхний график и суммарный коэффициент нелинейных искажений (*THD*) в %.

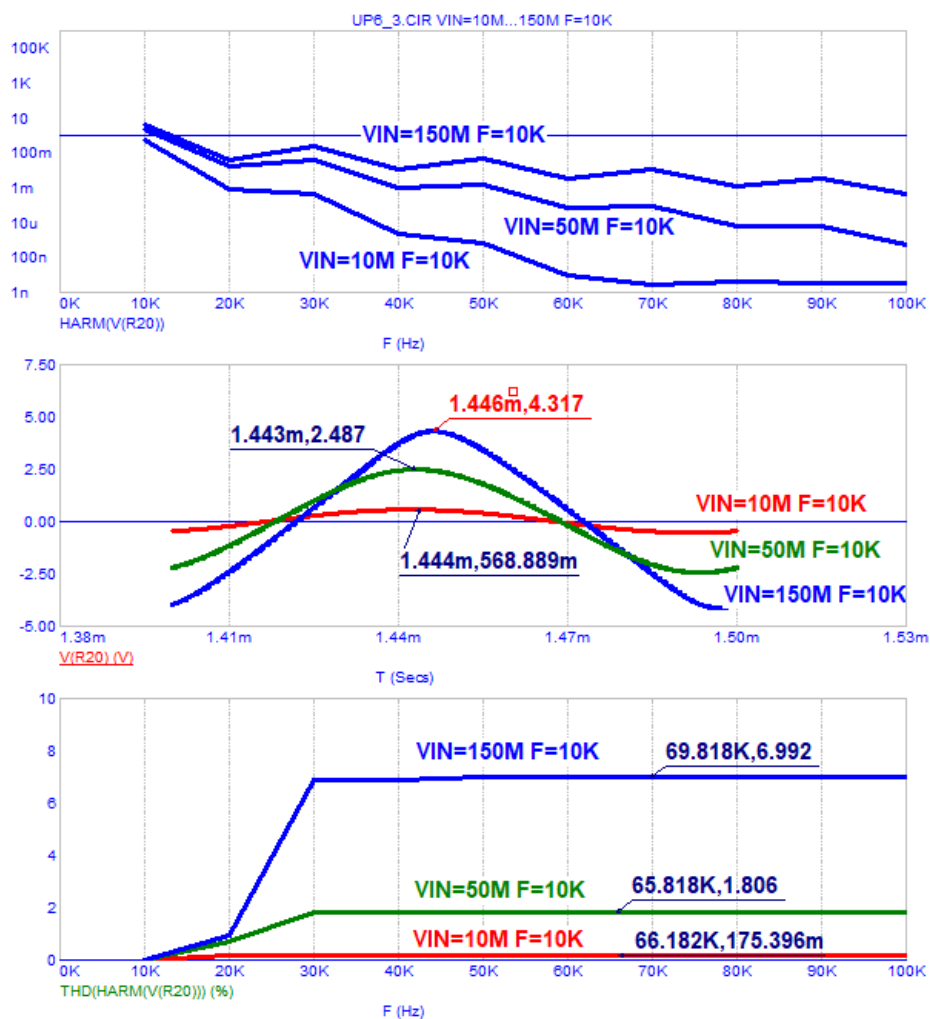


Рис. 6.10

Приведённые на рис. 6.10 графики показывают, что при увеличении амплитуды входного воздействия от 10 мВ до 150 мВ происходит увеличение нелинейных искажений от 0,17% до 7%, основной вклад в нелинейные искажения при сигнале 50 мВ и 150 мВ вносят вторая и особенно третья гармоники (верхний и нижний графики). На среднем рисунке видно, что при больших амплитудах искажается форма сигнала и уменьшается усиление с 57 до 29 раз.

6.6 Компьютерный расчёт нелинейных искажений в широкополосном резистивном усилителе

Принципиальная схема такого усилителя изображена на рис. 6.1. В диалоговое окно, показанное на рис. 6.11, введены исходные данные, в частности: частота входного сигнала $F = 10$ кГц, его амплитуда 10 мВ, имя источника входного сигнала $V1$, имя резистора нагрузки $R5$.

В результате компьютерных расчётов были получены графики, приведённые на рис. 6.12.

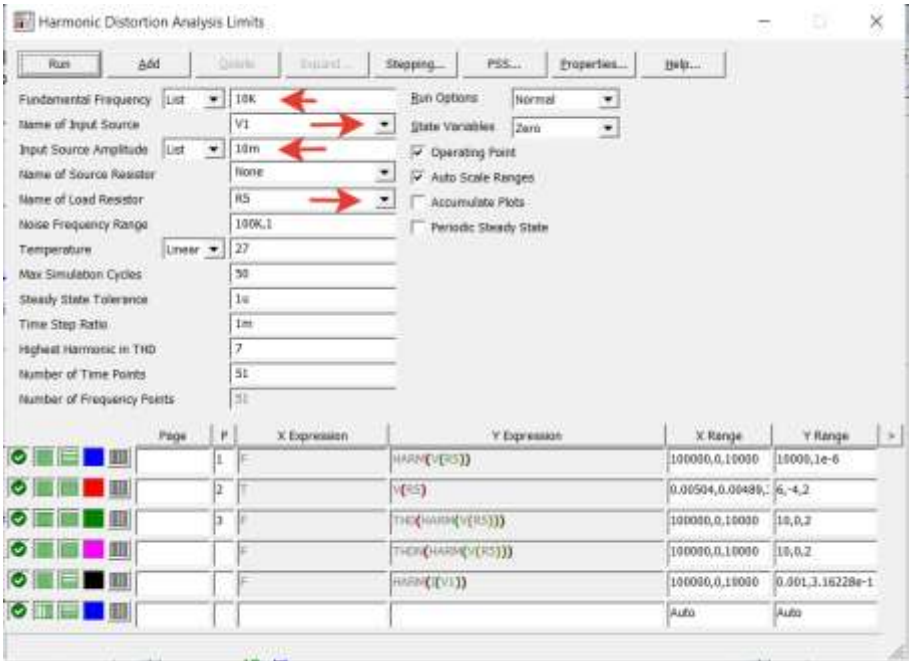


Рис. 6.11

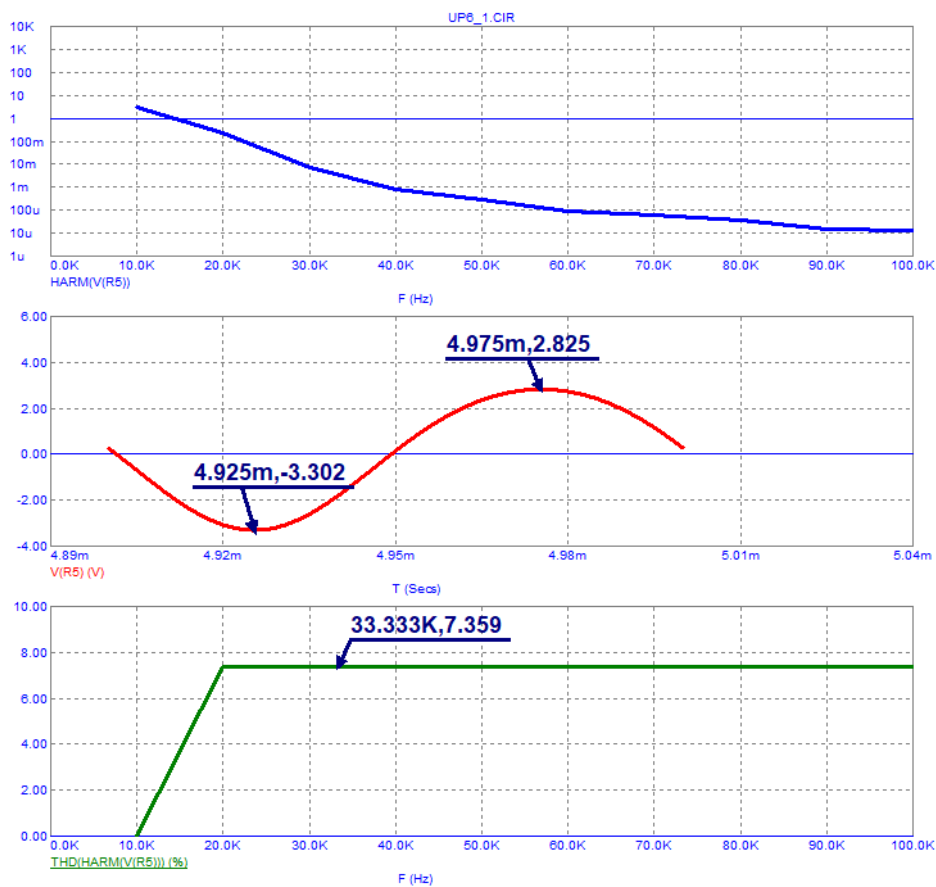


Рис. 6.12

Из рассмотрения этих зависимостей следует, что:

- во-первых, при такой амплитуде входного сигнала форма выходного напряжения значительно искажается, на временной диаграмме $V(R5)$ видны различия формы и амплитуды полувольт;
- во-вторых, основной вклад в нелинейные искажения даёт вторая гармоника;
- в-третьих, полный коэффициент гармоник составляет 7,4 %.

При уменьшении амплитуды входного сигнала в 10 раз (до 1 мВ) коэффициент гармоник снижается до значения менее 1%.