

И СНОВА О НЕЛИНЕЙНЫХ... АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ ALTERNATIVE METHOD FOR DISTORTION MEASUREMENT

Лебедев О.В. (O. Lebedev), ФГУП НИИР

Наступил июнь, и, сохраняя верность уже сложившимся традициям, сегодня вновь будем говорить о метрологии. Продолжая тему, начатую в № 3 журнала КИПиС за 2002 г. («Особенности национальной метрологии — измеряем точнее, чем с эталоном») и в № 3 журнала КИПиС за 2003 г. («Измерение коэффициента гармоник компенсационным методом»), сегодня будем говорить еще об одном

сигнале. Наиболее сильное влияние они оказывают на качество сигнала в звуковых трактах.

Интермодуляционные искажения в звуке воспринимаются на слух как хрипы, призвуки и т. п. В звучании музыкальных инструментов, например, при большом различии частот, происходит искажение скрипки контрабасом, а при близких по значению частотах — появление хорошо слышимого разно-

проведенные в свое время автором, показали, что коэффициент интермодуляционных искажений ($K_{и}$) примерно в три-пять раз превосходит коэффициент гармоник. Действительно, считается, что порог заметности искажений синусоидального сигнала для человека с тренированным слухом (музыканты, звукорежиссеры) лежит на уровне 1-3%. Однако, для музыкального сигнала эта заметность наступает гораздо раньше — на уровне, примерно равном 0,3-0,5%. Точно также, при тестировании несколькими экспертами аудиоусилителей с коэффициентом гармоник 0,1% и 0,01% была выявлена существенная разница в звучании в пользу последнего. Это говорит о том, что заметность интермодуляционных искажений гораздо выше.

Итак, мы знаем, что в системе с нелинейной передаточной характеристикой возникают спектральные составляющие, которых не было на входе. При подаче на вход сигнала с одной частотой f_1 на выходе появятся составляющие с частотами $2f_1, 3f_1, \dots, nf_1$ (рис. 1).

При подаче на вход сигнала с несколькими частотами f_1, f_2, \dots, f_n на выходе, кроме этих частот, появятся составляющие с частотами $nf_1 \pm nf_2 \pm \dots \pm nf_n$, где n — номер гармоники. Для двух частот, имеющих, например, только по две собственных гармоники и стоящих относительно далеко друг от друга, это будет выглядеть, как показано на рис. 2.

Для двух частот, имеющих, например, только по две собственных гармоники и стоящих близко друг от друга, это будет выглядеть, как показано на рис. 3.

Величину искажений сигнала, вызванных за счет появления комбинационных составляющих, называют коэффициентом интермодуляционных искажений. Коэффициент интермодуляционных искажений имеет вид:

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n,m=1}^N U_{nm}^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где:

$\sum_{n,m=1}^N U_{nm}^2$ — сумма эффективных напряжений комбинационных ($nf_1 \pm mf_2$) составляющих,
 U_1 и U_2 — напряжения первых гармоник сигналов f_1 и f_2 .

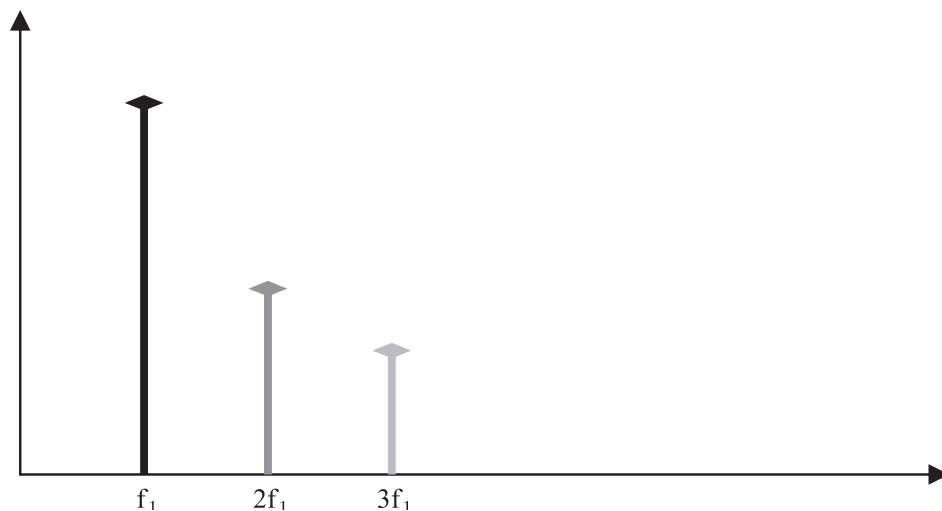


Рис. 1

из способов измерения искажений, позволяющем проводить исследования без применения измерителей искажений и эталонных средств.

Следует сразу оговориться, что сегодня речь пойдет несколько о других искажениях — интермодуляционных. Интермодуляционные искажения — это

стного тона. Долгое время искажения характеризовали только значением коэффициента гармоник (K_g) на стационарном синусоидальном сигнале. В свете современных представлений о звуке гораздо правильнее оценивать искажения по интермодуляционному критерию на многочастотном сигнале.

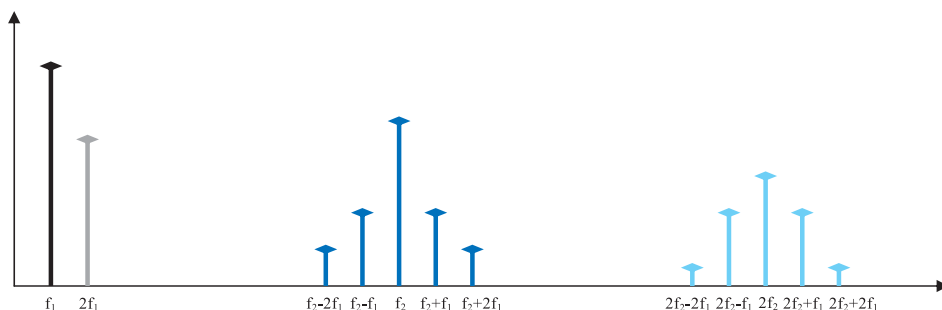


Рис. 2

серьезное последствие нелинейности трактов различных радиосистем. Они характеризуются комбинацией различных частот, существующих в оригинале сигнала и созданием новых комбинационных частот, которых нет в исходном

Такой метод уже давно используется за рубежом, и получил название «ТИМ-измерения» (Total InterModulation distortion measurement). Тем более, что статистические исследования заметности различного рода искажений звука,

Формула (1) говорит о том, что коэффициент интермодуляционных искажений равен отношению суммы величин всех комбинационных частот к сумме величин основных частот. Таким образом, измеряя напряжение всех комбинационных частот, и зная напряжения обоих сигналов, можно вычислить величину искажений.

На этом принципе основан метод измерения интермодуляционных искажений, который получил название ком-

генераторе 1, на входе испытуемого устройства регулятором уровня генератора 2 устанавливают значение напряжения частоты f_2 , равное 0,2 от номинального значения напряжения испытуемого устройства. Затем включают оба генератора и анализатором спектра измеряют комбинационные составляющие выходного напряжения испытуемого устройства. После чего вычисляют корень квадратный из суммы их квадратов и делят на номиналь-

действованы фильтры анализатора, обеспечивая лучшее выделение каждой составляющей. Для звукового диапазона удобнее всего выбирать частоты генераторов вблизи верхней граничной частоты. При этом суммарные составляющие, лежащие вне звукового диапазона, можно исключить из рассмотрения. Наибольший вклад в $K_{\text{и}}$ будут давать разностные частоты (рис. 3 и 5).

Особенность метода и его основное достоинство заключается в том, что он не требует применения эталонных средств измерений при довольно высокой точности измерений. Для регистрации гармоник вполне пригоден анализатор спектра с динамическим диапазоном 70-80 дБ. Этому условию сейчас удовлетворяет практически любой анализатор. Так как мы измеряем все составляющие спектра суммы двух сигналов, то также снижаются требования к генераторам. Их собственный $K_{\text{г}}$ может быть сопоставим с $K_{\text{г}}$ испытуемого устройства. Разница при применении прецизионных

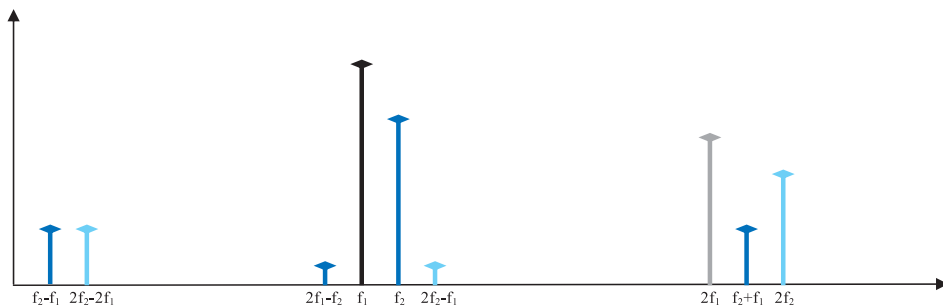


Рис. 3

бинационный. Структурная схема измерений по комбинационному методу приведена на рис. 4.

Схема представляет собой систему из двух одинаковых генераторов, сумматора, с выхода которого сигнал поступает на испытуемое устройство, и анализатора спектра, подключенного к выходу испытуемого устройства для измерения спектральных составляющих. Сумматор собран на резисторах R1, R2, R3. В ГОСТ 28849-79 приведены номиналы элементов сумматора.

ное напряжение на входе испытуемого устройства.

По некоторым международным рекомендациям на генераторах устанавливают одинаковый уровень сигнала, равный половине номинального значения напряжения испытуемого устройства, но это не принципиально. Измерения проводятся аналогично. На рис. 5 показан вид экрана анализатора спектра при проведении измерений интермодуляционных искажений комбинационным методом.

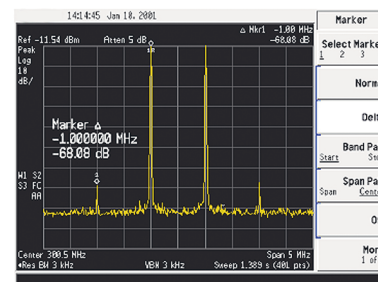


Рис. 5

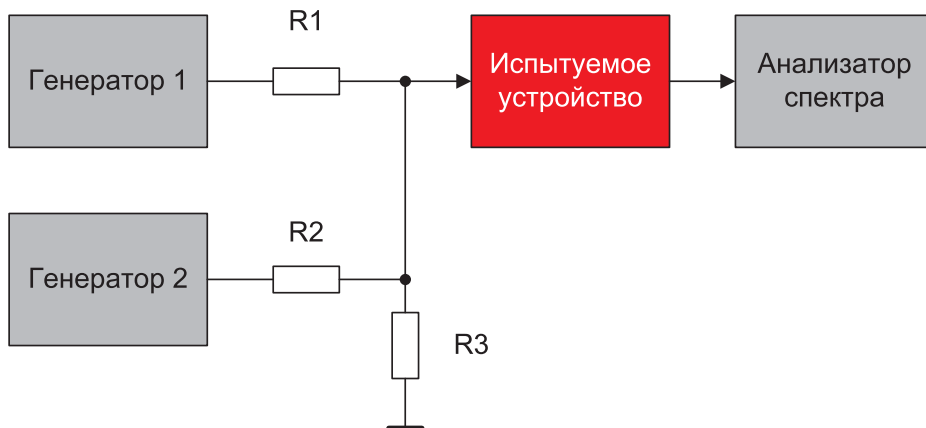


Рис. 4

Реальные номиналы могут отличаться от указанных, главное, чтобы $R1=R2$, а R3 выбиралось из условия согласования генераторов с испытуемым устройством.

Измерения проводят следующим образом. При выключенном генераторе 2, на входе испытуемого устройства регулятором уровня генератора 1 устанавливают значение напряжения частоты f_1 , равное 0,8 от номинального значения напряжения испытуемого устройства. Затем при выключенном

Отечественные рекомендации по проведению измерений приведены в ГОСТ 23850-79. По стандарту DIN 455500 для звука: $f_1=250$ Гц, $f_2=8000$ Гц. Но для повышения точности измерений, желательно работать при малых различиях частот генераторов. Однако их близость будет ограничиваться разрешающей способностью анализатора. Кроме того, для повышения точности измерений необходимо настраивать анализатор на каждую составляющую, изменяя полосу обзора. При этом будут

генераторов будет заключаться только в уменьшении общего времени проведения измерений, за счет меньшего числа составляющих. Измерения могут быть проведены на любых частотах, включая ВЧ (рис. 5).

Недостатками метода являются его трудоемкость и достаточно большое время измерений. Но, как говорится, они являются продолжением его достоинств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации и отчеты МККР, 1986 г. XVI Пленарная ассамблея, Дубровник, том X, ч. 1.
2. Г.А. Ремез. Курс основных радиотехнических измерений. — М. Связьиздат, 1955 г.
3. Лебедев О.В. Измерение коэффициента гармоник компенсационным методом. — КИПиС, № 3, 2003 г.
4. Paul Skritek. Handbuch der Audio-Schaltungstechnik. — Franzsis, 1991.

The new method for measuring of an intermodulation distortion factor permitting to conduct precise measurements without using of precise instruments or standards is considered in this article.