

при переходе в русскую википедию идет перенаправление с англ. статьи "Total harmonic distortion" на русскую статью "Коэффициент нелинейных искажений"

04 04 2016г

Коэффициент нелинейных искажений

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

Текущая версия страницы пока [не проверялась](#) опытными участниками и может значительно отличаться от [версии](#), проверенной 5 января 2014; проверки требуют [12 правок](#).

Содержание

- [1 Определение](#)
- [2 Примеры расчёта КГИ](#)
- [3 Измерения](#)
- [4 Типовые значения КНИ и КГИ](#)
- [5 См. также](#)
- [6 Литература, ссылки, примечания](#)
- [7 Дополнительные ссылки](#)

Определение

Коэффици́ент нелине́йных искаже́ний (КНИ или **К_Н**) — величина для количественной оценки [нелинейных искажений](#), равная отношению среднеквадратичной суммы спектральных компонент выходного [сигнала](#), отсутствующих в [спектре](#) входного сигнала, к среднеквадратичной сумме всех спектральных компонент входного сигнала

$$K_{\text{Н}} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2 + \dots}}$$

КНИ — безразмерная величина и выражается обычно в процентах. Кроме КНИ, уровень нелинейных искажений часто выражают и через **коэффициент гармонических искажений** (КГИ или **К_Г**) — величину, выражающую степень нелинейных искажений устройства (усилителя и др.) и равную отношению среднеквадратичного напряжения суммы высших гармоник сигнала, кроме первой, к напряжению первой гармоники при воздействии на вход устройства синусоидального сигнала.

$$K_{\text{Г}} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2 + \dots}}{U_1}$$

КГИ, так же, как и КНИ, выражается в процентах и связан с ним соотношением

$$K_{\text{Г}} = \frac{K_{\text{Н}}}{\sqrt{1 - K_{\text{Н}}^2}}$$

Очевидно, что для малых значений КГИ и КНИ совпадают в первом приближении. Интересно, что в западной литературе обычно пользуются КГИ, тогда как в отечественной литературе традиционно предпочитают КНИ.

Важно также отметить, что КНИ и КГИ — это лишь *количественные меры искажений*, но не качественные. Например, значение КНИ (КГИ), равное 3% ничего не говорит о характере искажений, т.е. о том, как в спектре сигнала распределены гармоники, и каков, например, вклад НЧ или ВЧ составляющих. Так, в спектрах ламповых [УМЗЧ](#) обычно преобладают низшие гармоники, что часто воспринимается на слух как «тёплый ламповый звук», а в транзисторных [УМЗЧ](#) искажения более равномерно распределены по спектру, и он более плоский, что часто воспринимается как «типичный транзисторный звук» (хотя спор этот во многом зависит от личных ощущений и привычек человека).

Примеры расчёта КГИ

Для многих стандартных сигналов КГИ может быть подсчитан аналитически.^[1] Так, для [симметричного прямоугольного сигнала \(меандра\)](#)

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{\pi^2}{8} - 1} \approx 0.483 = 48.3\%$$

Идеальный пилообразный сигнал имеет КГИ

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{\pi^2}{6} - 1} \approx 0.803 = 80.3\%$$

а симметричный треугольный

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{\pi^4}{96} - 1} \approx 0.121 = 12.1\%$$

Несимметричный прямоугольный импульсный сигнал с соотношением длительности импульса к периоду, равному μ ^[2] обладает КГИ

$$K_{\Gamma}(\mu) = \sqrt{\frac{\mu(1-\mu)\pi^2}{2\sin^2\pi\mu} - 1}, \quad 0 < \mu < 1.$$

который достигает минимума (≈ 0.483) при $\mu=0.5$, т.е. тогда, когда сигнал становится симметричным меандром.^[1] Кстати, фильтрованием можно добиться значительного снижения КГИ этих сигналов, и таким образом получать сигналы, близкие по форме к синусоидальным. Например, [симметричный прямоугольный сигнал \(меандр\)](#) с изначальным КГИ в 48.3%, после прохождения через [фильтр Баттерворта](#) второго порядка (с частотой среза, равной частоте основной гармоники) имеет КГИ уже в 5.3%, а если фильтр четвёртого порядка — то КГИ=0.6%.^[1] Следует отметить, что чем более сложный сигнал на входе фильтра и чем более сложный сам фильтр (а точнее, его передаточная функция), тем более громоздкими и трудоёмкими будут вычисления КГИ. Так, стандартный пилообразный сигнал, прошедший через [фильтр Баттерворта](#) первого порядка, имеет КГИ уже не 80.3% а 37.0%, который в точности даётся следующим выражением

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{\pi^2}{3} - \pi \operatorname{cth} \pi} \approx 0.370 = 37.0\%$$

А КГИ того же сигнала, прошедшего через такой же фильтр, но второго порядка, уже будет даваться достаточно громоздкой формулой^[1]

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\pi \frac{\operatorname{ctg} \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \operatorname{cth}^2 \frac{\pi}{\sqrt{2}} - \operatorname{ctg}^2 \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \operatorname{cth} \frac{\pi}{\sqrt{2}} - \operatorname{ctg} \frac{\pi}{\sqrt{2}} - \operatorname{cth} \frac{\pi}{\sqrt{2}}}{\sqrt{2} \left(\operatorname{ctg}^2 \frac{\pi}{\sqrt{2}} + \operatorname{cth}^2 \frac{\pi}{\sqrt{2}} \right)} + \frac{\pi^2}{3} - 1} \approx 0.181 = 18.1\%$$

Если же рассматривать вышеупомянутый несимметричный прямоугольный импульсный сигнал, прошедший через [фильтр Баттерворта](#) p -ого порядка, то тогда

$$K_{\Gamma}(\mu, p) = \csc \pi \mu \cdot \sqrt{\mu(1-\mu)\pi^2 - \sin^2 \pi \mu - \frac{\pi}{2} \sum_{s=1}^{2p} \frac{\operatorname{ctg} \pi z_s}{z_s^2} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq s}}^{2p} \frac{1}{z_s - z_l} + \frac{\pi}{2} \operatorname{Re} \sum_{s=1}^{2p} \frac{e^{i\pi z_s(2\mu-1)}}{z_s^2 \sin \pi z_s} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq s}}^{2p} \frac{1}{z_s - z_l}}$$

где $0 < \mu < 1$ и

$$z_l \equiv \exp \frac{i\pi(2l-1)}{2p}, \quad l = 1, 2, \dots, 2p$$

подробности вычислений — см. Ярослав Благушин и Эрик Моро^[1].

Измерения

- В низкочастотном (НЧ) [диапазоне](#) для измерения КНИ применяются [измерители нелинейных искажений](#) (измерители коэффициента гармоник).
- На более высоких частотах (СЧ, ВЧ) используют косвенные измерения с помощью [анализаторов спектра](#) или селективных [вольтметров](#).

Типовые значения КНИ и КГИ

Ниже приведены некоторые типовые значения для КНИ, и в скобках, для КГИ.

- 0 % (0%) — форма сигнала представляет собой идеальную синусоиду.
- 3 % (3 %) — форма сигнала отлична от синусоидальной, но искажения незаметны на глаз.
- 5 % (5 %) — отклонение формы сигнала от синусоидальной заметной на глаз по осциллограмме.
- 10 % (10 %) — стандартный уровень искажений, при котором считают реальную мощность ([RMS](#)) [УМЗЧ](#), заметен на слух.
- 12 % (12 %) — идеально симметричный треугольный сигнал.
- 21 % (22 %) — «типичный» сигнал трапецеидальной или ступенчатой формы.^[3]
- 43 % (48 %) — идеально [симметричный прямоугольный сигнал \(меандр\)](#).
- 63 % (80 %) — идеальный пилообразный сигнал.

См. также

- [Искажения сигнала](#)
- [Измеритель нелинейных искажений](#)

Литература, ссылки, примечания

- Справочник по радиоэлектронным устройствам**: В 2-ух томах; Под ред. Д. П. Линде — М.: Энергия, [1978](#)
- Горохов П. К. **Толковый словарь по радиоэлектронике. Основные термины** — М: Рус. яз., [1993](#)

- [Iaroslav Blagouchine and Eric Moreau. *Analytic Method for the Computation of the Total Harmonic Distortion by the Cauchy Method of Residues*. IEEE Transactions on Communications, vol. 59, no. 9, pp. 2478—2491, September 2011.](#)

2. ↑ Т.е μ — это обратная [скважность](#), или то, что в англоязычной литературе называется *duty cycle* (но не в процентах, а в абсолютной величине); другими словами, μ — это то, что во франкоязычной литературе называется *rapport cyclique*.
3. ↑ КНИ/КГИ сигнала трапецеидальной формы может варьироваться, в зависимости от высоты отсечки, от КНИ/КГИ прямоугольного меандра до КНИ/КГИ симметричного треугольного сигнала, т.е. КГИ такого сигнала лежит в интервале 12—48%.

Дополнительные ссылки

- [ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА ЗВУКОПЕРЕДАЧИ](#)
- [Коэффициент нелинейных искажений \(КНИ / THD / THDI\)](#)

Категории:

- [Радиотехнические величины и параметры](#)
- [Безразмерные параметры](#)