

Что измеряют современные приборы – физическое явление «нелинейные искажения» или его количественные характеристики?

Нелинейные искажения электрического сигнала (напряжения или тока) – физическое явление, обусловленное, главным образом, нелинейностями элементов, через которые сигнал проходит. Для количественной оценки этого явления традиционно используют два понятия: коэффициент гармоник K_g , который определяется в соответствии с выражением (1)

$$K_g = \frac{1}{U_1} \sqrt{\sum_{i=2}^{N_g} U_i^2}; \quad (1)$$

либо коэффициент нелинейных искажений $K_{НИ}$, который определяется по формуле (2)

$$K_{НИ} = \sqrt{\sum_{i=2}^{N_g} U_i^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^{N_g} U_i^2}. \quad (2)$$

Нетрудно видеть, что коэффициенты K_g и $K_{НИ}$ связаны между собой соотношением

$$K_{НИ} = K_g / \sqrt{1 + K_g^2}. \quad (3)$$

В этих формулах:

U_1 – среднеквадратическое значение напряжения первой (основной) гармоники исследуемого сигнала;

U_i – среднеквадратическое значение i -той спектральной гармонической составляющей (гармоники) исследуемого сигнала;

N_g – количество спектральных гармонических составляющих (гармоник), до которого надлежит исследовать сигнал.

Выражение (1) аналогично принятому в зарубежной технической литературе понятию «суммарный коэффициент гармонических составляющих (total harmonic distortion THD)»: The total harmonic distortion (THD) is a measurement of the harmonic distortion present in a signal and is defined as the ratio of the sum of the powers of all harmonic components to the power of the fundamental frequency.

Действующий в настоящее время стандарт ГОСТ 16465-70 «Сигналы радиотехнические измерительные. Термины и определения» допускает термин «коэффициент гармоник» и указывает термин «коэффициент нелинейных искажений» как недопустимый к применению.

Таким образом, термин «измеритель нелинейных искажений» так же неудачен, как, например, термин «измеритель всемирного тяготения». Вместо них следует использовать термины «измеритель коэффициента гармоник» и «пружинные весы».

Тем не менее, даже при утверждении типа новых СИ многочисленные службы, начиная со служб во ВНИИФТРИ, включая нормоконтроль, и заканчивая Росстандартом, узаконивают в т.ч. и «измерители нелинейных искажений» и благополучно вписывают их в ГПС для СИ коэффициента гармоник.

В стандарте, определяющем параметры качества электроэнергии, ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» используется понятие «суммарный коэффициент гармонических составляющих: отношение среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей», т.е. коэффициент гармоник K_g по ГОСТ 16465-70. Введено также понятие «значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка в процентах напряжения основной гармонической составляющей». В ГОСТ 30804-2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств» нормируются уровни нечетных гармоник, не

кратных трем, уровни нечетных гармоник, кратных трем, и уровни четных гармоник, включая 40-ю.

Принципиальный недостаток даже современных измерителей и калибраторов аналогового типа, использующих для выделения гармонических составляющих фильтрацию сигналов: они измеряют (воспроизводят) коэффициент гармоник при фиксированных значениях амплитуды и частоты сигнала, а также, как правило, дают интегральную оценку нелинейных искажений без количественной оценки каждой спектральной составляющей вплоть до требуемого порядка.

Указанного недостатка лишены цифровые измерители коэффициента гармоник, реализующие преобразование Фурье, в частности, средства измерений коэффициента гармоник СК6-20, СК6-20А, СК6-122, СК6-220, которые выпускаются ООО «Завод электронной техники». Эта же методика используется в измерителях параметров качества электроэнергии.

Независимо от выбранной методики измерений (с использованием аналоговых элементов или цифровой схемотехники) в названиях некоторых приборов существует определенная путаница и несоответствие измеряемому параметру. Например, первый измеритель, разработанный специалистами ООО «ЗЭТ», СК6-20, получил при испытаниях в целях утверждения типа название «Калибратор-измеритель нелинейных искажений», хотя он измеряет именно коэффициент гармоник. Тому есть объяснение: прибор разрабатывался под идейным влиянием ведомственной метрологической службы, где даже исходный для ведомства эталон называется эталоном единицы коэффициента нелинейных искажений, хотя воспроизводит единицу коэффициента гармоник.

Существуют еще примеры подобной несуразицы: прибор называется «измеритель нелинейных искажений», однако измеряет коэффициент гармоник, индицирует его же, без каких-либо уточнений и пояснений поверяется по калибратору коэффициента гармоник и прослеживается к государственному первичному эталону единицы коэффициента гармоник; т.е., название прибора не соответствует измеряемой величине.

Приятное исключение составляет измеритель нелинейных искажений АКПП-4501. В описании типа записано, что он предназначен для измерения коэффициента нелинейных искажений, диапазон и погрешности измерений указаны именно для коэффициента нелинейных искажений, а в методике поверки указан калибратор коэффициента гармоник СК6-122, но содержатся указания по пересчету установленных в калибраторе значений коэффициента гармоник в значения коэффициента нелинейных искажений.

Существующие в ряде приборов несоответствия названия средства измерений и измеряемой им величины могут оказаться не столь уж безобидными. Хотя, как это видно из (3), при малых значениях K_g и $K_{ни}$ они практически совпадают, при K_g , например, равном 50 % значение $K_{ни}$ составляет 44,7 %. Такая разница может уже превышать допускаемую погрешность измерений.

Поскольку в разных отраслях техники исторически сложились свои вкусовые пристрастия (в электроэнергетике, например, используют коэффициент гармоник K_g напряжения или тока, а в электроакустике – коэффициент нелинейных искажений $K_{ни}$ напряжения, как-то человек воспринимает на слух), в измерителе коэффициента гармоник СК6-220 введена функция пересчета и индикации измеренных значений K_g в значения $K_{ни}$.

Итак, ответ на вопрос: Что измеряют современные приборы – физическое явление «нелинейные искажения» или его количественные характеристики, состоит в следующем.

Физическое явление под названием «нелинейные искажения электрического сигнала», как и любое другое физическое явление, непосредственно измерить невозможно. Для его количественной оценки введена безразмерная величина – коэффициент гармоник, которая тематически определяется через поддающуюся измерениям физическую величину – электрическое напряжение переменного тока. Цифровой метод реализации измерений коэффициента гармоник на основе преобразования Фурье использован в средствах измерений коэффициента гармоник СК6-20, СК6-20А, СК6-122, СК6-220, которые выпускаются ООО «Завод электронной техники».