

УДК 621.316

**Измерение текущих значений коэффициентов нелинейных искажений**

Киреев В.В., Андросюк И.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Приборы, измеряющие коэффициент гармоник, называют измерителями нелинейных искажений. А именно: ИНИ-11 и ИНИ-12. Процесс измерения заключается в следующем: входной сигнал, содержащий высшие гармоники, через входной блок (делитель) подается на селективный усилитель. В режиме калибровки сигнал, минуя фильтр, проходит на вольтметр среднеквадратического значения. Показания индикатора умножаются на 100 (точка 100%), далее сигнал проходит на вольтметр.

В режиме измерения КНИ (коэффициента нелинейных искажений) включается фильтр, выделяющий первую гармонику. Для этого частота первой гармоники измеряется с помощью встроенного ЭСЧ (электронно-счетного частотомера), и в соответствии с результатами измерения осуществляется настройка фильтра. На выходе фильтра вольтметр измеряет суммы всех гармоник без первой, определяя их вес по отношению к полному сигналу, который при калибровке был принят за 100%.

На современных промышленных предприятиях значительное распространение получили потребители, вольт-амперные характеристики которых нелинейные. Такие нагрузки являются нелинейными. К их числу относятся в первую очередь различного рода преобразователи, установки дуговой и контактной электросварки, электродуговые сталеплавильные (ЭДСП) и рудно-термические печи, газоразрядные лампы, трансформаторы.

Несинусоидальные режимы неблагоприятно сказываются на работе силового электрооборудования, систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи.

Для проверки нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения используется ГОСТ 32144 — 2013. Показателями качества, относящимися к гармоническим составляющим напряжения, являются:

- значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка  $K_{U(n)}$  в процентах напряжения основной гармонической составляющей  $U_1$  в точке передачи электрической энергии;

- значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей)  $K_U$ , % в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей КЭ установлены нормы в источнике [1].

Степень нелинейных искажений оценивается коэффициентом гармоник [2]:

$$k_f = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$$

Широко распространенным методом измерения коэффициента нелинейных искажений является метод «подавления основной частоты». Он заключается в сравнении действующего значения полного напряжения искаженного сигнала с действующим значением напряжения всех высших гармоник, начиная со второй, имеющихся в искаженном сигнале. В этом случае фактически измеряется не коэффициент  $k_f$ , а величина  $k_{f1}$  определяемая формулой [2]:

$$k_{f1} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}$$

Еще одним способом определения текущего значения коэффициента гармоник в электрическом сигнале сети переменного тока, при котором измеряют временные интервалы, один из которых  $t_p$  соответствует полупериоду анализируемого сигнала, а второй  $t_0$  – временной интервал между моментом максимума анализируемого сигнала и моментом

перехода его через нулевое значение. Коэффициент гармоник  $K_r$  определяют в конце каждого полупериода анализируемого сигнала из выражения [3]:

$$K_r = \frac{1 - \left(\frac{t_0}{t_p}\right)}{\sqrt{2} \sin\left(\pi \frac{t_0}{t_p}\right)} \sqrt{\sum_{n=3}^m \frac{1 - \cos\left(2\pi n \frac{t_0}{t_p}\right)}{n^2 \left(1 - n^2 \left(\frac{t_0}{t_p}\right)^2\right)^2}},$$

где  $\pi$  – постоянная величина;

$n = 3, 5, 7, \dots$  - целые числа;

$m$  – максимальное количество высших гармонических составляющих, достаточное для обеспечения измерений с заданной точностью.

Согласно с ГОСТом 32144 — 2013 определяют коэффициент гармонической составляющей сигнала.

Суть метода заключается в следующем. Опорный синусоидальный и анализируемый сигналы фильтруют от высокочастотных помех с помощью фильтров низкой частоты. В связи тем, что фильтры низкой частоты имеют одинаковые параметры, изменений временных соотношений между анализируемым и опорным сигналом не возникает.

Измеряют частоту  $f$  анализируемого сигнала, равную частоте опорного сигнала, с помощью измерителя частоты и подают в вычислительное устройство ее текущие значения.

Измеряют с помощью измерителя временных интервалов длительность временных интервалов  $t_0$ , выделенных между моментами перехода через ноль из положительных в отрицательные значения опорного синусоидального сигнала и моментами перехода через ноль из положительных в отрицательные значения анализируемого сигнала.

Подают в вычислительное устройство текущие значения  $t_0$ , которые будут соответствовать по времени моментам измерения частоты  $f$ . В связи с этим флуктуации частоты  $f$  и соответствующие им по времени флуктуации  $t_0$  не вызовут искажений результатов анализа.

Вычислительное устройство производит расчет коэффициента гармонической составляющей в анализируемом сигнале по уравнению измерительного преобразования [4].

Способ обладает высоким быстродействием, т.к. происходит одновременное вычисление коэффициентов гармонических составляющих и не требуется использование выделения фильтрацией спектральных составляющих и преобразование анализируемого сигнала.

### Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения// Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.
2. Мирский, Г.Я. Радиоэлектронные измерения / Г.Я. Мирский. – 2-е изд. - Москва: Госэнергоиздата, 1963. – 528 с.
3. Патент РБ №19830/28.02.2016. Способ определения текущего значения коэффициента гармоник в электрическом сигнале сети переменного тока//Патент Беларуси № а 20130999. 2013./Суходолов Ю.В., Чумаков С.А., Крученок Л.П., Белоусов А. В.
4. Патент РБ №19875/28.02.2016. Способ определения относительного содержания спектральных составляющих в периодическом электрическом сигнале//Патент Беларуси № а 20130996. 2013./Суходолов Ю.В., Чумаков С.А., Крученок Л.П., Киш О.И.