

сти от направленности самого излучателя относительно гидрофона, и построено диаграмму направленности (рис. 2).

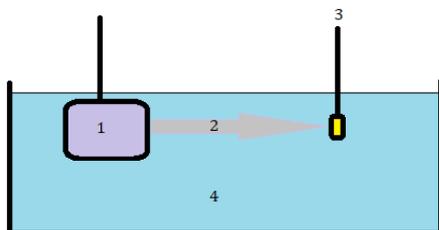


Рисунок 1 – Схема измерения уровня мощности ультразвука в воде:
1 – УЗ излучатель; 2 – направление распространения УЗ волны; 3 – гидрофон; 4 – водная среда)

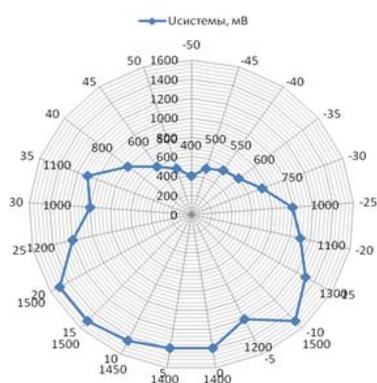


Рисунок 2 – Диаграмма направленности ультразвукового излучателя

Также затем было получено максимальное значение интенсивности при прямо направленном излучателе ультразвука на гидрофон, и оценено значение интенсивности ультразвука. Максимальная в пространстве и средняя во времени интенсивность I_{SPTA} (1) определяется в результате усреднения максимальной в пространстве интенсивности импульса I_{SPPA} за время, равное периоду повторения импульсов T_n [2].

$$I_{SPTA} \approx I_{SPPA} \frac{\tau_i}{T_n}, \quad (1)$$

Затем, после ряда вычислений, было получено значение интенсивности данного экспериментального ультразвукового терапевтического аппарата, что составляло $I_{SPTA} = 0,06$ Вт/см². Что находится в пределах интенсивностей, применяемых для физиотерапии.

В результате вышизложенного материала можно сделать вывод, что в процессе эксплуатации аппаратов ультразвуковой терапии необходимо неуклонно соблюдать регламенты поверки и калибровки аппаратов для бесперебойного обеспечения качества их выходных характеристик. Результаты приведенных измерений являются примером проведения измерений значений интенсивности аппаратов ультразвуковой терапии, как в лабораторных условиях, так и в процессе метрологической поверки. Это важно как в процессе разработки аппаратов ультразвуковой терапии, так и при регулярных поверках.

Литература

1. Hekkenberg, R., Beissner, K. and Zeqiri, B. (2007). Guide for the maintenance of ultrasound physiotherapy systems. Luxembourg: Publications Office.
2. IEC 60601-2-5-2009 Medical electrical equipment - Part 2-5: Particular requirements for the basic safety and essential performance of ultrasonic physiotherapy equipment. Geneva: IEC, 2009.
3. Ahmadi F., McLoughlin I.V., Chauhan S., ter-Haar G. Bio-effects and safety of low-intensity, low-frequency ultrasonic exposure // Progress in Biophysics and Molecular Biology.-2012.-№ 108.-С. 119-138.
4. Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія / Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С., Чухраєв М.В., Кравченко А.Ю. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, «Політехніка», 2018. – 184 с. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.
5. Терещенко М.Ф., Кравченко А.Ю., Чухраєв М.В., Кудрянцева А.Ю. Влияние ультразвука терапевтических интенсивностей на кластерную структуру дистиллированной воды // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Приборостроение. – 2016. – В.51(1). – С.126-131.

УДК 621

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК ПРИ СТРУКТУРЕ СПЕКТРА СИГНАЛА С ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ГАРМОНИКАМИ Герасимова Т.В.¹, Савченко А.Л.²

¹ Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии»
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Нелинейность элементов схем приводит к тому, что на выходе прибора появляются спектральные составляющие, которые отсутствуют в исходном сигнале. Поэтому, для радиотехнических сигналов важными являются спектральный состав сигнала и коэффициент гармоник, как характеристика,

определяющая степень отличия формы реального сигнала от идеальной синусоиды. В технической литературе применяют также термин «коэффициент нелинейных искажений» (КНИ).

Коэффициент гармоник выходного напряжения K_G характеризует отношение среднего

квадратического значения (СКЗ) напряжения высших гармоник U_{BG} к СКЗ напряжения первой гармоники U_1 и определяется по формуле, %

$$K_G = \frac{U_{BG}}{U_1} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}}{U_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где U_i – напряжение i -й гармоники основной частоты ($i = 2, 3, \dots, n$ – номер гармоники) [1].

Часто искажения нормируются в форме отношения СКЗ напряжения высших гармоник U_{BG} к СКЗ напряжения полного сигнала U и определяются по формуле, %

$$K_G^* = \frac{U_{BG}}{U} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}}{U} \cdot 100. \quad (2)$$

Для определения величины коэффициента гармоник используются измерители коэффициента гармоник (измерители нелинейных искажений).

Основным назначением этой группы средств измерений является использование их для контроля и аттестации различных устройств, к качеству воспроизведения формы сигнала которых предъявляются повышенные требования при проверке модулирующих трактов передатчиков, при оценке искажений формы выходных сигналов калибраторов напряжения и измерительных генераторов [2].

Измерители коэффициента гармоник используют в основном два способа измерений:

1) измерение вольтметром СКЗ раздельно напряжения первой гармоники U_1 и суммы напряжений высших гармоник U_{BG} , с последующим расчетом K_G по формуле (1);

2) измерение амплитудных значений напряжений необходимого числа спектральных гармонических составляющих и вычисление K_G по той же формуле [3].

В первых измерителях для оценки формы низкочастотных сигналов (измерители нелинейных искажений С6-5, С6-7) был реализован метод измерений КНИ в соответствии с формулой (2).

Коэффициенты K_G и K_G^* связаны между собой определенным соотношением, но при незначительных искажениях сигналов (менее 10 %) практически совпадают по значению.

В настоящее время в республике эксплуатируется большой парк измерителей КНИ С6-5, С6-7, С6-11, С6-12, СК6-13, которые были разработаны еще в 80-х годах прошлого столетия.

Погрешность измерений коэффициента гармоник рабочими средствами находится в пределах (3–15) % в зависимости от частоты первой гармоники. Оценка погрешности данной группы приборов осуществляется с помощью эталонных установок 1 разряда по типовой методике

калибровки измерителей нелинейных искажений с неопределенностью (1–2) % при уровне доверия 0,95 и коэффициенте охвата 2.

Эталонные средства измерений представлены установками 1 разряда СК6-10, К2С-57, СК6-19, СК6-20, СК6-21, которые обеспечивают выдачу гармонического сигнала с заданным коэффициентом гармоник в диапазоне частот от 10 Гц (20 Гц) до 200 кГц.

Большой интерес представляют современные калибраторы-измерители типа СК6-20 и аналогичные ему средства измерений с цифровым методом формирования прецизионных гармонических сигналов и сигналов с требуемым спектральным составом. Принцип действия основан на прямом цифровом синтезе гармонических сигналов и аналого-цифровом преобразовании входных сигналов с использованием дискретного преобразования Фурье и последующим определением параметров спектральных составляющих первой и высших гармоник входного сигнала [4].

Погрешности выдачи коэффициента гармоник эталонами данной группы находятся в пределах (1–3) % в зависимости от частоты первой гармоники и оцениваются с неопределенностью (0,3–1) % при уровне доверия 0,95 и коэффициенте охвата 2 по типовой методике калибровки установок 1 разряда с помощью Национального эталона единицы коэффициента гармоник методом непосредственного сличения.

Национальный эталон единицы коэффициента гармоник обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в Республике Беларусь точностью в диапазоне частот первой гармоники от 10 Гц до 200 кГц и динамическом диапазоне воспроизводимых коэффициентов гармоник от 0,001 до 100 %.

В основу аппаратного блока Национального эталона единицы коэффициента гармоник положен принцип построения с использованием меры (калибратора) и компаратора, с помощью которого размер коэффициента гармоник передается нижестоящим эталонным и рабочим средствам измерений в требуемых пределах и диапазоне частот [5].

Калибратор эталона может воспроизводить спектрально чистый сигнал первой гармоники, а также сигналы с разными структурами спектра.

Требования к спектру исследуемого сигнала диктуются компаратором, принципом его построения и его характеристиками. Так как показания компаратора зависят от спектра компарируемых сигналов, то спектр сигнала калибратора должен быть максимально приближен к спектру исследуемого сигнала.

Результаты измерений и расчетов показывают, что эксплуатируемые в республике эталонные установки СК6-10, К2С-57 характеризуются выдачей сигнала с первой, второй, четвертой и

восьмой гармониками и спадающим спектром по закону $1/N$. По этой причине, ежегодные исследования эталона проводились на спадающем спектре калибратора, как наиболее универсальном при оценке метрологических характеристик данных эталонных установок.

С появлением в эксплуатации нового поколения калибраторов – измерителей нелинейных искажений, работа которых основана на цифровых методах измерений и синтеза сигналов с разными структурами спектра, возникла необходимость контроля спектра компарируемых сигналов и соответственно исследований относительной неопределенности (НСП) воспроизведения коэффициента гармоник Национальным эталоном при работе на сигнале Первой гармоники с разными структурами спектра.

С этой целью были проведены дополнительные исследования эталона с целью оценки погрешности воспроизведения K_G при формировании калибратором эталона сигналов со спектрами, содержащими первую и вторую гармоники.

Оценивание неопределенности воспроизведения единицы коэффициента гармоник Национальным эталоном для всех формируемых спектров обусловлено источниками, специфическими для данного эталона и проводится по формуле:

$$A_0 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3, \quad (3)$$

где A_0 – оценка относительной НСП воспроизведения коэффициента гармоник, %; δ_1 – погрешность из-за неполной компенсации первой гармоники в сигнале высших гармоник, %; δ_2 – погрешность из-за неточности уравнивания СКЗ напряжения первой и напряжения высших гармоник в реперной точке $K_G = 100$ %, %; δ_3 – погрешность встроенного делителя напряжения, %.

УДК 004.05

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Душина Т.В., Коншина Д.С., Спесивцева Ю.Б.

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь*

Самооценка является процедурой диагностики деятельности организации, одним из критериев которой может рассматриваться оценка уровня качества выпускаемой продукции, в ряде случаев являющаяся обязательной. Так новая версия стандарта IATF 16949:2016 устанавливает требование оценки качества встраиваемого программного обеспечения (ПО). Рассмотрим методику такой оценки на примере светотехнических изделий, выпускаемых на ОАО «Руденск».

В связи с появлением новой версии стандарта IATF 16949:2016 появилась необходимость в со-

Оценки относительной НСП воспроизведения на спадающем спектре и спектре, содержащем первую и вторую гармоники проводились с помощью мультиметра 3458А и имеют прослеживаемость к Национальному эталону единицы напряжения переменного тока в диапазоне частот от 10 Гц до 2 ГГц и Национальному эталону единицы напряжения – вольты.

Результаты исследований эталона коэффициента гармоник показали, что относительная НСП на указанных выше структурах спектра не превышает (0,03 – 0,25) % в зависимости от частоты первой гармоники при неопределенности измерений не более 0,5 % при уровне доверия 0,95 и коэффициенте охвата 2, СКО воспроизведения не превышает 0,03 %.

Метрологические характеристики Национального эталона единицы коэффициента гармоник соответствуют требованиям, предъявляемым к характеристикам первичного эталона в соответствии с ГОСТ 8.110-97 [6]. В Республике Беларусь обеспечивается метрологическая прослеживаемость измерений коэффициента гармоник до Международной системы единиц SI.

Литература

1. Измерения в электронике. Справочник / В.А. Кузнецов [и др.]; под общ. ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоиздат, 1987. – 512 с.
2. А.М. Федоров, А.И. Синяков. Влияние формы электрических сигналов на погрешность измерения напряжения // Квалификация и качество – 2003, № 4.
3. Крутиков, В.Н. // Контрольно-измерительные приборы и системы – 2005, № 6.
4. Калибратор – измеритель нелинейных искажений СК6-20. Руководство по эксплуатации.
5. Исходный эталон единицы коэффициента гармоник. Руководство по эксплуатации РПИС. 411734. 005-01 РЭ.
6. ГОСТ 8.110-97 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений коэффициента гармоник.

вершенствовании системы менеджмента качества в части выполнения требований стандарта к оценке качества встраиваемого программного обеспечения (ПО) светотехнических изделий.

Оценив риски разработки встраиваемого программного обеспечения и проанализировав существующие методики для оценки его качества был выбран метод интегральной оценки качества программных средств (ГОСТ 28195), основанный на иерархической модели качества.

Оценка качества ПО проводится экспертной группой на этапе его применения (таблица 1) и