

Средства измерений параметров низкочастотных радиотехнических сигналов, разработанные и выпускаемые ООО «Завод электронной техники»

ООО «Завод электронной техники» ведет разработки и осуществляет выпуск следующих измерительных приборов:

- средств измерений параметров низкочастотных радиотехнических сигналов (измерители и калибраторы коэффициента гармоник, генераторы для воспроизведения гармонических сигналов с заданными нормированными значениями амплитуды, частоты и коэффициента гармоник);
- средств измерений магнитных величин – магнитной индукции и магнитного потока.

Важным параметром электрического сигнала, будь то напряжение и сила тока в системах электроснабжения или любой измерительный сигнал, является его чистота, т.е. степень содержания в нем, наряду с напряжением основной (первой) гармоники, напряжения высших и низших частот, кратных или не кратных основной частоте. Для оценки этого параметра служат измерители коэффициента гармоник или измерители коэффициента нелинейных искажений (термин, хотя и не допускаемый ГОСТ 16465-70 к применению, но еще используемый). При этом, к сожалению, название измерителя не всегда соответствует величине, которую прибор фактически измеряет.

Напомним, что коэффициент гармоник K_G равен отношению среднеквадратического напряжения всех гармоник сигнала, кроме первой, к среднеквадратическому напряжению первой гармоники. K_G , %, определяют по формуле (1):

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

Коэффициент нелинейных искажений $K_{НИ}$, %, равен отношению среднеквадратического напряжения всех гармоник сигнала, кроме первой, к среднеквадратическому напряжению всех спектральных компонентов сигнала, его определяют по формуле (2):

$$K_{НИ} = 100 \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}}{U}, \% \quad (2)$$

где: U_1 – амплитудное значение напряжения первой гармоники; U_i – амплитудное значение напряжения i -той гармоники; U – среднеквадратическое напряжение всех спектральных компонентов сигнала.

Параметры K_G и $K_{НИ}$ связаны между собой соотношением

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

Нетрудно видеть, что при незначительных нелинейных искажениях сигнала значения K_G и $K_{НИ}$ практически совпадают.

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.

В настоящее время используют два способа измерений K_G : классический – измерение вольтметром среднеквадратических значений раздельно напряжения первой гармоники U_1 и суммы напряжений высших гармоник U_i , а затем вычисление K_G по формуле (1), либо спектральный – измерение амплитудных значений напряжения необходимого числа N_g спектральных компонентов сигнала и вычисление K_G по той же формуле.

В аналоговых приборах спектральные компоненты выделяют с использованием фильтров, что особенно неудобно при построении калибраторов коэффициента гармоник, которые могут при этом воспроизводить только фиксированные значения K_r на фиксированных частотах и амплитудах.

В средствах измерений (СИ) ООО «ЗЭТ» реализован спектральный способ измерения и воспроизведения коэффициента гармоник с использованием цифровых технологий. Принцип действия этих приборов основан на прямом цифровом синтезе гармонических сигналов и аналого-цифровом преобразовании (АЦП) входных сигналов с использованием дискретного преобразования Фурье и последующим определением параметров спектральных составляющих (модуля и фазы) первой и высших гармоник входного сигнала. Для этого используют современные цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) и АЦП, например, производства фирмы Analog Devices. Применение АЦП соответствующих разрядов и последующая цифровая обработка результатов измерений статистическим методом обеспечивает определение параметров входного сигнала при уровне шумов и помех от внешних источников, сравнимых и даже превышающих полезный сигнал.

Суть используемого цифрового метода определения K_r и синтеза сигналов с требуемыми спектральным составом и значением K_r заключается в том, что по исходным данным (информации о частоте первой гармоники и выборке отсчетов исследуемого сигнала) оценивают параметры модели

$$s(t) = \sum_{i=0}^{N_g} A_i \cos(2\pi f_i t + \varphi_i), \quad (4)$$

где A_i , f_i , φ_i – амплитуда, частота и фаза i -той гармоники.

В результате вычислений определяют амплитуды и фазы первой и высших гармоник. Шум, который содержится в исследуемом сигнале, считается аддитивным и нормальным с известной корреляционной функцией. Данная задача решается статистическими методами.

В нашей стране описанный метод был впервые использован при создании ведомственного эталона единицы коэффициента нелинейных искажений с ограниченными диапазоном и точностью измерений. Накопленный опыт позволил разработчикам этих СИ (ныне сотрудникам ООО «ЗЭТ») создать и внедрить в метрологическую практику линейку цифровых измерителей и калибраторов коэффициента гармоник K_r , метрологические характеристики которых позволяют использовать их в качестве прецизионных рабочих средств измерений либо аттестовать в качестве разрядных рабочих эталонов по государственной поверочной схеме для средств измерения коэффициента гармоник ГОСТ Р 8.762-2011:

- калибраторы-измерители нелинейных искажений СК6-20 (номер в государственном реестре СИ 41370-14);

- измерители коэффициента гармоник СК6-220 (номер в государственном реестре СИ 65885-16);

- генераторы-калибраторы гармонических сигналов СК6-122 и СК6-122-01 (номер в государственном реестре СИ 46781-11);

- измерители-калибраторы коэффициента гармоник СК6-20А и СК6-20А-01 (номер в государственном реестре СИ 47721-11).

Более подробные сведения о перечисленных СИ приведены ниже.

Местоположение СИ коэффициента гармоник, выпускаемых ООО «ЗЭТ», в государственной поверочной схеме по ГОСТ Р 8.762-2011 приведено в таблице.

Разряд элемента ГПС по ГОСТ Р 8.762-2011	Характеристики элемента ГПС по ГОСТ Р 8.762-2011	СИ	Пояснения
Вторичные эталоны	$K_r = 0,001 - 100 \%$ $S_\Sigma = 3,5 \cdot 10^{-4} - 0,6 \%$	СК6-20А-01	Измерение – блок измерительный СК6-20А-01; воспроизведение – генератор-калибратор СК6-122 под управлением СК6-20А-01
Рабочие эталоны 1 и 2 разряда (калибраторы K_r , измерители K_r)	$K_r = 0,003 - 100 \%$ 1 разряд (калибраторы K_r): $\Delta = (1 - 3) \cdot 10^{-2} \cdot K_r + (0,1 - 2) \cdot 10^{-2} \%$; 2 разряд (измерители K_r): $\Delta = (3 - 10) 10^{-2} \cdot K_r + (0,2 - 10) 10^{-2} \%$	СК6-20А	Калибратор – СК6-122; измеритель – блок измерительный СК6-20А
Рабочие эталоны 1 разряда (калибраторы K_r)	$K_r = 0,003 - 100 \%$ $\Delta = (1 - 3) \cdot 10^{-2} \cdot K_r + (0,1 - 2) \cdot 10^{-2} \%$	СК6-122; СК6-122-01 с СК6-20	СК6-122-01 при малых значениях K_r – под управлением СК6-20
Рабочие эталоны 2 разряда (измерители K_r)	$K_r = 0,003 - 100 \%$ $\Delta = (3 - 10) 10^{-2} \cdot K_r + (0,2 - 10) 10^{-2} \%$	СК6-20 СК6-220	Режим измерения коэффициента гармоник
Рабочие средства измерений	Измерители K_r $K_r = 0,003 - 100 \%$ $\Delta = (3 - 15) 10^{-2} \cdot K_r + (0,2 - 15) 10^{-2} \%$	СК6-20 СК6-220	Режим измерения коэффициента гармоник
	Генераторы сигналов $K_r = 0,005 - 1 \%$	СК6-122-01	Режим воспроизведения сигналов

Разработка перечисленных эталонных и прецизионных рабочих СИ в ООО «ЗЭТ» и их внесение в государственный реестр СИ были бы невозможны без оснащения предприятия соответствующим измерительным и специальным оборудованием и наличия в его составе не только квалифицированных разработчиков, но и опытных метрологов. Указанные обстоятельства были использованы для аккредитации в области обеспечения единства измерений с признанием компетентности на выполнение поверок СИ, которые выпускает ООО «ЗЭТ».

Метрологическая база предприятия, наряду с рабочими СИ, включает в себя утвержденные в установленном порядке Росстандартом вторичный эталон по ГОСТ Р 8.762-2011 и три рабочих разрядных эталона по ГОСТ 8.030-2013:

- вторичный эталон единицы коэффициента гармоник в диапазоне от 0,001 до 100 % для сигналов с частотой первой гармоники от 10 до 200000 Гц, регистрационный номер 2.2.ГМБ.0003.2014;

- рабочий эталон 2 разряда единицы магнитной индукции постоянного магнитного поля в диапазоне от 0,02 до 2,0 Тл, регистрационный номер 3.2.ГМБ.0001.2014;

- рабочий эталон 1 разряда единицы магнитной индукции в диапазоне от 0,01 до 20 мТл при частотах от 0 до 2000 Гц, регистрационный номер 3.2.ГМБ.0002.2014;

- рабочий эталон 1 разряда единицы отношения магнитного потока к силе тока с номинальным значением 10 мВб/А, 3.2.ГМБ.0004.2014.

Периодическую поверку эталонных СИ предприятие проводит во ВНИИФТРИ и ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, которые содержат и применяют государственные первичные эталоны соответствующих единиц. Поверители проходят переподготовку и повышение квалификации в профильных образовательных учреждениях.

КАЛИБРАТОР-ИЗМЕРИТЕЛЬ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СК6-20

Предназначен для измерений коэффициентов гармоник сигналов, измерений частоты и амплитуды первой гармоники, определения уровней и фазовых сдвигов высших гармоник сигнала относительно первой, определения коэффициентов передачи и начальных фазовых сдвигов четырехполосников, а также воспроизведения коэффициентов гармоник при работе с внешним генератором, например, СК6-122-01.

Зарегистрирован в Государственном реестре СИ под № 41370-14.

Может быть аттестован в качестве рабочего эталона 2 разряда по ГОСТ Р 8.762-2011.



Измерение коэффициента гармоник Кг

Диапазон частот первой гармоники в режиме измерений Кг, кГц	0,01 ... 200
Диапазон измеряемых значений Кг, %	0,001 ... 100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения Кг, %	от 0,005 до 4

Определение уровней и начальных фазовых сдвигов гармоник, коэффициента передачи и фазового сдвига четырехполосников

Диапазон уровней гармонических составляющих и коэффициента передачи четырехполосников, дБ	минус 110 ... 0
с разрешающей способностью, дБ	0,01
Диапазон фазовых сдвигов	от 0° до 360°
с разрешающей способностью	0,1°

Измерение частоты и амплитуды первой гармоники

Диапазон частот, кГц	0,01 ... 200,00
Диапазон измеряемой амплитуды первой гармоники, В	0,01 ... 2,0
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения частоты, %	± 0,006
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения амплитуды в диапазоне от 10 мВ до 1 В, %	± 1,8
в диапазоне от 1 до 2 В, %	± 0,6

Воспроизведение коэффициента гармоник Кг

(с использованием внешнего генератора, например, СК6-122-01)

Диапазон частот первой гармоники в режиме воспроизведения Кг, кГц	0,010 ... 200
Диапазон воспроизводимых значений Кг, %	0,001 ... 100
с дискретностью, %	0,001
Пределы абсолютной погрешности воспроизведения Кг, %	от 0,005 до 4

Мощность, потребляемая от сети (220 ± 22) В / (50 ± 1) Гц, В·А, не более	60
Габаритные размеры, мм, не более	380 × 160 × 450
Масса, кг, не более	7
Рабочие условия применения по ГОСТ 22261	Группа 2

ИЗМЕРИТЕЛЬ КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК (НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ) СК6-220



По принципу действия и основным характеристикам СК6-220 аналогичен калибровочному измерителю СК6-20. Управляется встроенным процессором и не нуждается в компьютере. Динамический диапазон до 50 В и может быть расширен до 150 В. Измеряет уровни интергармоник и субгармоник сигнала. По измеренным значениям коэффициента гармоник вычисляет и индицирует коэффициент нелинейных искажений.

- Основные функции измерителя коэффициента гармоник СК6-220:
 - использование в качестве рабочего эталона 2 разряда единицы коэффициента гармоник по ГОСТ Р 8.762-2011;
 - использование в качестве рабочего средства измерений следующих величин: коэффициента гармоник и коэффициента нелинейных искажений; амплитуды и частоты первой гармоники; уровня, частоты и начальных фаз высших гармоник относительно первой, уровня и частоты интергармоник и субгармоник низкочастотных сигналов.
- Диапазон измерений коэффициента гармоник в диапазоне частот первой гармоники от 10 Гц до 200 кГц:
 - от 0,01 до 100 % при амплитуде первой гармоники от 0,05 до 0,5 В;
 - от 0,001 до 100 % при амплитуде первой гармоники свыше 0,5 до 50 В (до 150 В).
- Диапазон измерений частоты от 10 Гц до 1200 кГц.
- Диапазон измерений амплитуды первой гармоники от 0,05 до 50 В (до 150 В).
- Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений коэффициента гармоник:
 - от 0,02 до 2 % при амплитуде первой гармоники от 0,05 до 0,5 В;
 - от 0,0015 до 1 % при амплитуде первой гармоники свыше 0,5 до 2 В;
 - от 0,005 до 3 % при амплитуде первой гармоники свыше 2 до 50 В.
- Пределы допускаемой погрешности измерений частоты ΔF , Гц: $\Delta F = 2 \cdot 10^{-4} \cdot F + 0,01$.
- Пределы допускаемой погрешности измерений амплитуды первой гармоники:
 - 1 % в диапазоне частот от 10 Гц до 20 кГц;
 - 3 % в диапазоне частот свыше 20 до 200 кГц.
- Характеристики измерителя при определении уровней амплитуды и начальных фаз высших гармоник относительно первой гармоники при частоте первой гармоники от 10 Гц до 200 кГц и амплитуде первой гармоники от 0,5 до 50 В:
 - диапазон измеряемых уровней от минус 100 до 0 дБ;
 - диапазон измеряемых начальных фаз от 0 до 360 °.
- Диапазон измеряемых уровней интер- и субгармоник сигнала относительно амплитуды первой гармоники при частоте первой гармоники от 10 Гц до 200 кГц и амплитуде первой гармоники от 0,5 до 50 В: от минус 90 до 0 дБ.
- Может быть использован при проверках метрологических характеристик измерителей параметров качества электроэнергии по ГОСТ 32144-2013 в части измерений гармоник и интергармоник по ГОСТ 30804-2013.
- Регистрационный номер в государственном реестре средств измерений: 65885-16.
- Декларация ТС № RU Д-РУ.МЛ06.В.00111 от 11.05.2016 г. о соответствии СК6-220 требованиям Технических регламентов Таможенного союза ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования» и 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств».

ГЕНЕРАТОР-КАЛИБРАТОР ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ СК6-122



Предназначен для воспроизведения:

- гармонических сигналов с нормированными значениями частоты и амплитуды;
- сигналов с нормированными значениями частоты и амплитуды первой гармоники и коэффициента гармоник K_g ;
- гармоник, интергармоник и субгармоник основного сигнала с нормированными значениями частоты и амплитуды, до 15 составляющих;
- периодических сигналов произвольной формы.

Области применения

- ❖ Проверка и калибровка в качестве рабочего эталона 1 разряда по ГОСТ Р 8.762-2011 эталонных и рабочих средств измерений коэффициента гармоник (нелинейных искажений, суммарного коэффициента гармонических составляющих, total harmonic distortions THD) в радиотехнике, при контроле параметров качества электроэнергии и т.д.
- ❖ Проверка и калибровка измерителей уровней гармоник относительно первой (коэффициентов n -й гармонической составляющей).
- ❖ Проверки метрологических характеристик измерителей параметров качества электроэнергии по ГОСТ 32144-2013 в части измерений гармоник, интергармоник и субгармоник основной частоты по ГОСТ 30804-2013.

Принцип действия

Генератор-калибратор работает под управлением внешней ПЭВМ по интерфейсу USB. В приборе реализован цифровой синтез сигналов. 16-ти разрядный ЦАП преобразует по командам ПЭВМ задаваемые в цифровом коде значения частоты, напряжения и фазовых сдвигов гармонических составляющих сигнала в выходные аналоговые величины, усиливаемые малошумящим усилителем, сигнал с которого поступает на выходной резистивный ступенчатый аттенуатор.

Основные технические характеристики

- Диапазон воспроизводимых частот 0,1 Гц – 1 МГц (в этом диапазоне можно воспроизводить любые гармоники, интергармоники и субгармоники с заданными уровнями амплитуд и начальными фазовыми сдвигами относительно основной гармоники) с дискретностью 0,024 Гц и абсолютной погрешностью Δ_F , которая не превышает $\pm (2 \cdot 10^{-4} \cdot F + 0,024 \text{ Гц})$, где F – устанавливаемая частота, Гц.
- Диапазон воспроизводимых амплитудных значений первой гармоники на нагрузке $(600 \pm 1) \text{ Ом}$ от 0,01 до 10 В с дискретностью 0,01 В и абсолютной погрешностью, которая не превышает $\pm (0,01 \cdot A + 1 \text{ мВ})$, где A – устанавливаемая амплитуда, В.
- Диапазон воспроизводимых значений коэффициента гармоник K_g от 0,001 до 100 %, дискретность воспроизведения K_g – 0,001 %.
- Абсолютная погрешность воспроизведения K_g в зависимости от частоты и амплитуды первой гармоники и значения K_g : исполнение СК6-122 от 0,0005 до 2 %; исполнение СК6-122-01 от 0,005 до 2 %.

Рабочие условия эксплуатации по группе 2 ГОСТ 22261-94, безопасность по ГОСТ Р 51350-99, параметры ЭМС (помехоустойчивость и помехоэмиссия) по ГОСТ Р 51522-99.

Регистрационный номер в Государственном реестре средств измерений: 46781-11.

ИЗМЕРИТЕЛЬ-КАЛИБРАТОР КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК СК6-20А



- Автоматические измерения коэффициента гармоник K_g
- Автоматические измерения амплитуды и частоты первой гармоники
- Воспроизведение сигналов с заданными нормированными значениями амплитуды и частоты первой гармоники и коэффициента гармоник K_g .
- Определение уровней амплитуды и фазы высших гармоник сигнала относительно первой.
- Определение суммарного уровня интергармоник, заполняющих спектр сигнала между первой и высшими гармониками, относительно первой.
- Определение АЧХ и ФЧХ четырехполюсников.

Применение

Использование в качестве вторичного эталона (СК6-20А-01) либо рабочего эталона 1 разряда (СК6-20А) единицы коэффициента гармоник по ГОСТ Р 8.762-2011.

Принцип действия

Измеритель-калибратор СК6-20А включает в себя блок измерительный СК6-20А и генератор-калибратор гармонических сигналов СК6-122. Работает под управлением внешней ПЭВМ по интерфейсу USB. В приборе реализовано аналого-цифровое преобразование входного сигнала с использованием дискретного преобразования Фурье и дальнейшим определением параметров спектральных составляющих (модуля и фазы) первой и высших гармоник входного сигнала.

Основные технические характеристики

- Измерения коэффициента гармоник K_g от 0,001 до 100 %
- Воспроизведение гармонических сигналов амплитудой от 0,01 до 10 В и частотой от 0,1 Гц до 1 МГц.
- Воспроизведение сигналов с заданными нормированными значениями амплитуды и частоты первой гармоники и коэффициента гармоник K_g от 0,001 до 100 %.
- Измерения амплитуды до 2 В и частоты до 5 МГц.
- Определение уровней амплитуды и фазы высших гармоник относительно первой.
- Определение суммарного уровня интергармоник от минус 110 до 0 дБ относительно первой гармоники.

Рабочие условия применения по группе 2 ГОСТ 22261-94, безопасность по ГОСТ Р 51350-99, параметры ЭМС (помехоустойчивость и помехоэмиссия) по ГОСТ Р 51522-99.

Регистрационный номер в Государственном реестре средств измерений: 47721-11.