

УДК 621.317.351

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК И ОТНОСИТЕЛЬНОГО УРОВНЯ ГАРМОНИК С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

А.В. Клеопин

*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, Мытищи, Московская обл.
32gnii@mil.ru*

В работе проведена оценка возможности применения цифровых осциллографов для измерений коэффициента гармонических искажений и относительного уровня гармоник при проверке генераторов сигналов сложной формы. Разработано специальное программное обеспечение для осциллографа С8-203/2 и проведено исследование его метрологических характеристик с помощью генератора-калибратора гармонических сигналов СК6-122-01.

Ключевые слова: коэффициент гармоник, цифровой осциллограф, программное обеспечение, метрологическое обеспечение, генераторы Г6, проверка, гармонические искажения, передача информации.

MEASUREMENT OF THE HARMONIC FACTOR AND THE RELATIVE LEVEL OF HARMONICS USING A DIGITAL OSCILLOSCOPE

A.V. Kleopin

*FSBI "MSMC" Ministry of Defense of Russia, Mytishchi, Moscow region
32gnii@mil.ru*

The work assesses the possibility of using digital oscilloscopes for measuring the harmonic distortion factors and the relative level of harmonics when verifying complex-shaped signal generators.

Special software for the C8-203 / 2 oscilloscopes has been developed and its metrological characteristics have been studied using the generator-calibrator of SK6-122-01 harmonic signals.

Key words: harmonic factor, digital oscilloscope, software, metrological assurance, G6 generators, verification, harmonic distortions, information transfer.

В настоящее время для решения измерительных задач, связанных с передачей и преобразованием информации, дистанционным управлением, импульсным электропитанием, а также для ремонта и технического обслуживания современных устройств связи, навигации, локации, телеметрии, телевизионной и медицинской техники, широко применяются генераторы сигналов сложной формы группы Г6 и генераторы сигналов произвольной формы (далее по тексту — генераторы Г6).

Проведённый анализ показал (рис. 1), что в РФ эксплуатируются как генераторы Г6, выпущенные до 1990 года (Г6-15, Г6-26, Г6-27, Г6-28, Г6-29,

Г6-31, Г6-33, Г6-39, Г6-40, Г6-42, Г6-43, ГФ-05), так и современные отечественные и зарубежные средства измерений (РФ: Диатест-4; Белоруссия: Г6-45, Г6-46; США: серия Tektronix AFG 3000С, серия Keysight 33000; КНР: серия ПрофКиП Г6-27М ... Г6-37М, серия АК ИП ГСС-05 ... ГСС-120, серия АНР 1000).



Рис. 1. Генераторы Г6 и их зарубежные аналоги

Необходимость совершенствования метрологического обеспечения генераторов Г6 возникает прежде всего из-за высокой трудоёмкости выполнения поверочных операций с применением эталонов различного назначения и, как следствие, высокой стоимости оснащения рабочих мест по поверке генераторов Г6. Это обусловлено необходимостью измерений большого количества параметров как синусоидальных, так и импульсных, треугольных, пилообразных сигналов, а также напряжения постоянного тока.

Традиционно в методиках поверки генераторов Г6 указывают набор средств поверки, включающий:

- частотомер;
- вольтметр универсальный;
- осциллограф электронно-лучевой (в современных методиках поверки — осциллограф цифровой);
- измеритель коэффициента гармоник;
- анализатор спектра или вольтметр селективный;
- генератор импульсов или генератор Г6 (вспомогательные для синхронизации).

Данный перечень необходимого оборудования исторически закрепился в отечественной метрологической практике с 80-х годов прошлого века. Этот же ряд средств измерений (СИ) указан в недействующем в настоящее время ГОСТ 26245-90 [1] и в связи с отсутствием новых нормативных документов продолжает широко использоваться специалистами-метрологами.

При этом часто на практике такой набор средств поверки избыточен по своим метрологическим характеристикам. В настоящее время цифровые осциллографы, применяемые в качестве эталонов 2-го разряда по ГОСТ Р 8.761-2011 [2], обеспечивают погрешность измерений напряжения постоянного тока и амплитуды сигналов (в нормальном диапазоне частот) в пределах от $\pm 0,5$ до $\pm 2,5$ %. Кроме этого, цифровые осциллографы в отличие от электронно-лучевых имеют высокие показатели по относительной погрешности измерений частоты и периода сигналов — до $10^{-5} \dots 10^{-6}$. В связи с этим, для абсолютного большинства отечественных генераторов Г6 и для большей части зарубежных генераторов Г6 массового применения вместо частотомера и вольтметра при поверке достаточно использовать один современный цифровой осциллограф. В дополнение к этому при использовании цифрового осциллографа исключается необходимость использования на рабочем месте по поверке генераторов Г6 вспомогательного генератора импульсов для синхронизации. Таким образом, сокращается количество необходимых средств поверки с 6 до 3.

Однако даже с учётом вышеописанного сокращения средств поверки необходимость наличия измерителя коэффициента гармоник и анализатора спектра, являющихся более дорогостоящими СИ, чем вольтметр и частотомер, не позволяет говорить о большом выигрыше при организации поверки генераторов Г6.

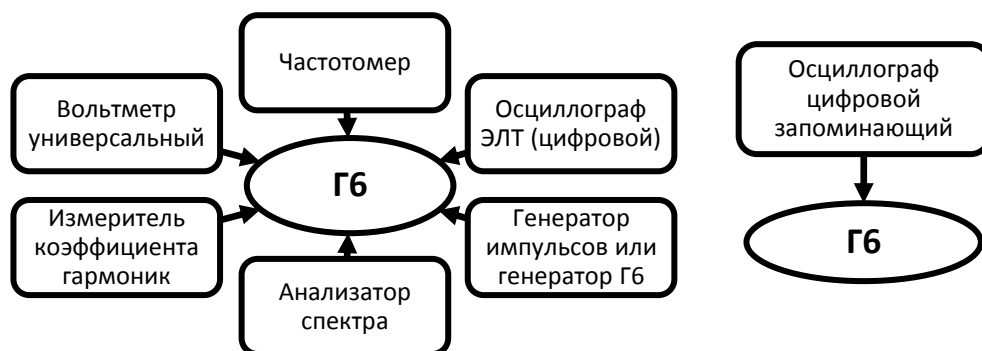


Рис. 2. Существующий перечень средств поверки генераторов Г6 (слева), предложенная схема поверки (справа)

Исходя из вышеперечисленных предпосылок, в данной работе рассмотрен вопрос применения цифровых осциллографов для измерений коэффициента

гармонических искажений K_G и относительного уровня гармоник $U_{G \text{ отн.}}$ при поверке генераторов Г6 (см. рис. 2).

Обобщённые требования к K_G и динамическому диапазону измерений $U_{G \text{ отн.}}$ при поверке генераторов Г6 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения K_G и $U_{G \text{ отн.}}$, нормируемые для генераторов Г6

| Тип СИ | K_G , %, не более (до 200 кГц) | $U_{G \text{ отн.}}$, дБн (выше 200 кГц) | Средства поверки, указанные в МП |
|--------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| Г6-28 | 1,0...3,0 | не норм. | С6-8 |
| Г6-36 | 1,0 | не норм. | С6-11 |
| Г6-37 | 1,0...2,5 | не норм. | С6-11 |
| Г6-46 | 3,0 | не норм. | В6-10 |
| ГФ-05 | 1,5...2,0 | не норм. | С6-8 |
| Диатест-4 | 1 | не норм. | С6-11 |
| АНР-1115, АНР-1120 | 1 | не норм. | С6-12 |
| ГСС-05 ... ГСС-120 | 1 | -50...-25 | С6-12, НР 8596Е |
| ПрофКиП Г6 | 0,2 | -45...-35 | СК6-13, Е4447А |
| AFG 3000С | 0,2 | -70...-30 | С6-11, MS2038С |

Суть разработанного метода измерений K_G заключается в записи сигнала, поступающего на вход осциллографа, с последующим выполнением на внешней управляющей ПЭВМ быстрого преобразования Фурье, измерения уровня спектральных составляющих и расчёта K_G или $U_{G \text{ отн.}}$. Специальное программное обеспечение (СПО) управляет работой осциллографа С8-203/2 по интерфейсу USB и осуществляет обработку результатов измерений. Для реализации требуемых значений по погрешности и динамическому диапазону измерений использованы специальные алгоритмы цифровой обработки сигнала, включающие оконную обработку при вычислении спектра и интерполяцию амплитудного и фазового спектра в окрестностях его максимумов. Кроме этого, при работе СПО осуществляется перевод осциллографа в режим максимально возможной частоты дискретизации для исследуемой частоты сигнала, а также установка режимов высокого разрешения и/или усреднения. Установка режимов работы осциллографа осуществляется с таким расчётом, чтобы получать и передавать на внешнюю ПЭВМ от 10 до 40 тыс. отсчётов сигнала с вертикальным разрешением 32 бита. Для достижения высокой скорости передачи больших объёмов информации от осциллографа к ПЭВМ использован бинарный формат данных [3].

На рис. 3 представлено окно СПО, а также пример спектра одного из исследуемых сигналов, который свидетельствует, что динамический диапазон, свободный от искажений и шумов, составляет не менее 60–80 дБ при исследовании спектра синусоидальных сигналов амплитудой 1 В.

Для оценки абсолютной погрешности измерений K_T с помощью цифрового осциллографа проведено экспериментальное исследование с применением генератора-калибратора гармонических сигналов СК6-122-01. В табл. 2 представлены результаты измерений K_T осциллографом С8-203/2. На калибраторе задавалось число гармоник 3.

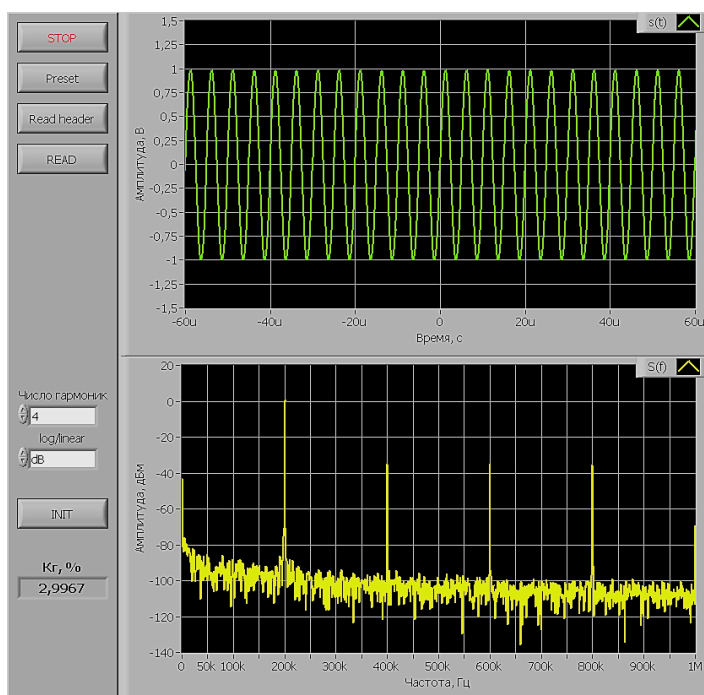


Рис. 3. СПО для осциллографа С8-203/2

Таблица 2

Результаты измерений K_T

| Частота, Гц | Установленный на калибраторе K_T , % | Измеренный осциллографом K_T , % | Абс. погр., % | Частота, Гц | Установленный на калибраторе K_T , % | Измеренный осциллографом K_T , % | Абс. погр., % |
|-------------|--|------------------------------------|---------------|-------------|--|------------------------------------|---------------|
| 200000 | 0,10 | 0,1578 | 0,0578 | 1000 | 0,10 | 0,2319 | 0,1319 |
| | 0,30 | 0,3359 | 0,0359 | | 0,30 | 0,3463 | 0,0463 |
| | 1,00 | 1,0187 | 0,0187 | | 1,00 | 1,0189 | 0,0189 |
| | 3,00 | 2,9975 | 0,0025 | | 3,00 | 3,0045 | 0,0045 |
| | 10,0 | 9,9835 | 0,0165 | | 10,0 | 9,9875 | 0,0125 |
| | 30,0 | 29,7716 | 0,2284 | | 30,0 | 29,9245 | 0,0755 |
| | 100 | 99,3616 | 0,6384 | | 100 | 99,9519 | 0,0481 |

Продолжение таблицы 2

| Частота, Гц | Установленный на калибраторе K_T , % | Измеренный осциллографом K_T , % | Абс. погр., % | Частота, Гц | Установленный на калибраторе K_T , % | Измеренный осциллографом K_T , % | Абс. погр., % |
|-------------|--|------------------------------------|---------------|-------------|--|------------------------------------|---------------|
| 100000 | 0,10 | 0,1499 | 0,0499 | 200 | 0,10 | 0,2319 | 0,1319 |
| | 0,30 | 0,3356 | 0,0356 | | 0,30 | 0,3492 | 0,0492 |
| | 1,00 | 1,0301 | 0,0301 | | 1,00 | 1,0116 | 0,0116 |
| | 3,00 | 3,0118 | 0,0118 | | 3,00 | 3,0059 | 0,0059 |
| | 10,0 | 10,0099 | 0,0099 | | 10,0 | 10,0039 | 0,0039 |
| | 30,0 | 30,0231 | 0,0231 | | 30,0 | 29,9755 | 0,0245 |
| | 100 | 99,9176 | 0,0824 | | 100 | 100,1576 | 0,1576 |
| 10000 | 0,10 | 0,2445 | 0,1445 | 100 | 0,10 | 0,2270 | 0,1270 |
| | 0,30 | 0,3445 | 0,0445 | | 0,30 | 0,3315 | 0,0315 |
| | 1,00 | 0,9932 | 0,0068 | | 1,00 | 1,0089 | 0,0089 |
| | 3,00 | 2,9705 | 0,0295 | | 3,00 | 3,0036 | 0,0036 |
| | 10,0 | 9,9411 | 0,0589 | | 10,0 | 9,9739 | 0,0261 |
| | 30,0 | 29,8389 | 0,1611 | | 30,0 | 29,9565 | 0,0435 |
| | 100 | 99,7752 | 0,2248 | | 100 | 99,8432 | 0,1568 |

Результаты экспериментальной проверки показали, что в диапазоне значений K_T от 0,3 до 100 % абсолютная погрешность его измерений не превышает $\pm (0,01K_T + 0,05 \%)$, а при значении $K_T = 0,1 \%$ погрешность измерений находится в пределах $\pm (0,01K_T + 0,1 \%)$, что соответствует требованиям по погрешности измерений для эталонов 2 разряда (С6-8, С6-11, С6-12), применяемых при поверке генераторов Г6.

Таким образом, результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Достигается динамический диапазон, свободный от искажений и шумов, не менее 60 дБ, что позволяет измерять относительный уровень гармоник при поверке основного парка генераторов Г6 без использования анализатора спектра.
2. Диапазон и погрешность измерений коэффициента гармоник с помощью осциллографа С8-203/2 позволяют не оснащать рабочие места по поверке генераторов Г6 измерителями коэффициента гармоник.
3. Для организации рабочих мест по поверке генераторов Г6 достаточно использовать только один тип эталона — осциллограф цифровой. Экономия финансовых средств, которые могли бы потребоваться для укомплектования одного рабочего места в метрологической организации анализатором спектра и измерителем коэффициента гармоник, составит около 6 млн. руб.

4. В качестве недостатка предложенного способа измерений коэффициента гармоник можно отметить относительно длительное время развёртки осциллографа (до 20–60 секунд), требующееся для измерений коэффициента гармоник низкочастотных сигналов (100 Гц и менее). Однако данный недостаток присущ всем современным СИ параметров спектра сигналов, за исключением устаревших аналоговых измерителей коэффициента гармоник.

Литература

1. ГОСТ 26245-90. Генераторы сигналов сложной формы. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1990.
2. ГОСТ Р 8.761-2011. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений импульсного электрического напряжения. М.: Стандартинформ, 2013.
3. Осциллографы цифровые запоминающие С8-203, С8-205. Руководство пользователя. Менделеево: ВНИИФТРИ, 2017.