

В. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
Ю. С. НЕМЧЕНКО, гл. метролог, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
И. П. ЛЕСНОЙ, зав. лаб., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
С. Б. СОМХИЕВ, вед. инженер, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» ;
А. Ю. СКОБЛИКОВ, мл. науч. сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

УСТАНОВКА У-ГИГ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА НЕВОСПРИИМЧИВОСТЬ К НИЗКОЧАСТОТНЫМ ГАРМОНИКАМ И ИНТЕРГАРМОНИКАМ, ВКЛЮЧАЯ СИГНАЛЫ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ НА ПОРТАХ СЕТИ ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Описана конструкция и результаты аттестации установки У-ГИГ, предназначенной для испытаний технических средств на невосприимчивость к низкочастотным гармоникам и интергармоникам, включая сигнальные системы передачи на портах электросети переменного тока, согласно действующим в Украине стандартам.

Ключевые слова: гармоники, интергармоники, кривая Мейстера, отдельные гармоники, нечетные гармоники не кратные 3, перестройка частоты.

При работе электрического и электронного оборудовании с номинальной силой тока до 16 А на фазу со значениями частоты помех до 2 кГц включительно (для сети питания 50 Гц) и 2,4 кГц (для сети питания 60 Гц) возникают гармоники и интергармоники, которые в низковольтных сетях электропитания приводят к ухудшению рабочих характеристик оборудования, потере функций в системах управления, к нестабильности внутренних напряжений и токов в оборудовании, к потере синхронизации и другим нежелательным явлениям.

Основными источниками гармоник и интергармоник являются силовые распределительные системы и силовое электронное оборудование, которое при работе или коммутации может создавать помехи в линиях электропитания, в сигнальных линиях и линиях управления техническими средствами (ТС). Технические требования и методика проведения испытаний регламентируются гармонизированным в Украине международным стандартом ДСТУ ІЕС 61000-4-13:2009 [1].

Формы гармоник и интергармоник электропитания и технические требования к их амплитудно-временным параметрам приведены на рис. 1-5 и табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Амплитуда и форма выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Ограниченная синусоида»

Класс	Амплитудное значение «фундаментальной синусоиды» U_{max}^{fc} , В	Уровень отсечки напряжения ΔU , %	Максимальное напряжение ограниченной синусоиды U_{max}^{oc} , В	Форма импульса
1	$329,6 \pm 6,6$	$5 \pm 0,3$	$313,1 \pm 19$	
2	$337,6 \pm 6,75$	$10 \pm 0,6$	$303,8 \pm 18,5$	
3	$361,6 \pm 7,2$	$20 \pm 1,2$	$289,3 \pm 18$	

Таблица 2 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Треугольные импульсы»

Класс	Номера гармоник				Форма импульса
	3		5		
	% от U_ϕ	В	% от U_ϕ	В	
1	4 % / 180°	$9,2 \pm 0,46$	3 % / 0°	$6,9 \pm 0,34$	
2	6 % / 180°	$13,8 \pm 0,69$	4 % / 0°	$9,2 \pm 0,46$	
3	8 % / 180°	$18,4 \pm 0,92$	5 % / 0°	$11,5 \pm 0,57$	

Примечание. Сокращение СКЗ – среднеквадратичное значение.

Таблица 3 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Перестройка частоты»

Полоса частот, Гц	Время изменения частоты, не менее, сек.	Класс					
		1		2		3	
		% от U_ϕ	В	% от U_ϕ	В	% от U_ϕ	В
16-100	300	2	4,6	3	6,9	4,5	10,35
100-500	130	5	11,5	9	20,7	14	32,2
500-1000	170	4	9,2	4,5	10,35	9	20,7
1000-1500	150	2	4,6	2	4,6	6	13,8
1500-2000	150	2	4,6	2	4,6	4	9,2

Примечание. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих – $\pm 5\%$.

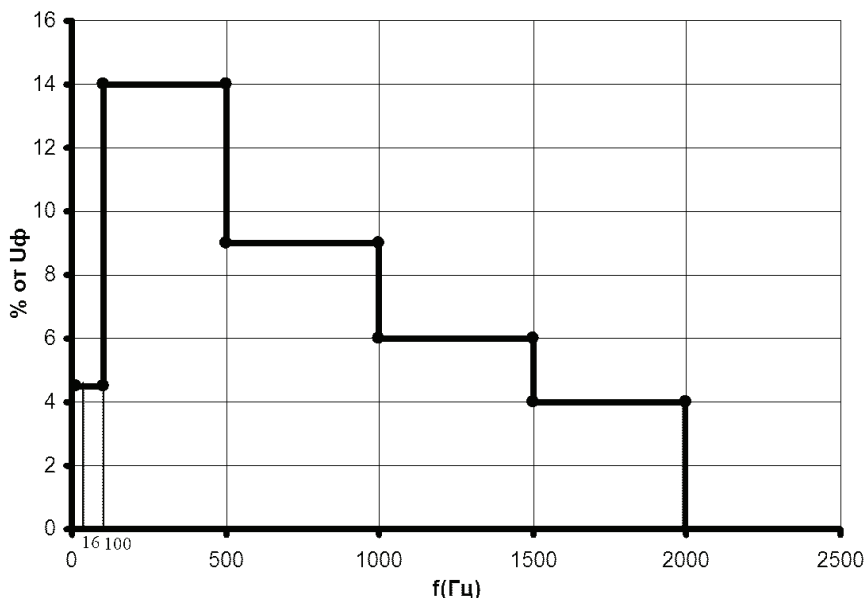


Рисунок 1 – Циклограмма изменения СКЗ напряжения гармоник в режиме испытаний «Перестройка частоты» для класса 3

Таблица 4 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Кривая Мейстера»

Полоса частот, Гц	Время изменения частоты, не менее, сек.	Класс ТС					
		1		2		3	
		% от U_ϕ	В	% от U_ϕ	В	% от U_ϕ	В
16-100	300	н.п.	-	3	6,9	4	9,2
100-500	130	н.п.	-	9	20,7	10	23
500-1000	170	н.п.	-	4500/f (9 – 4,5)	20,7 - 10,35	4500/f (9 – 4,5)	20,7 - 10,35
1000-2000	300	н.п.	-	4500/f (4,5 – 2,25)	10,35 - 5,18	4500/f (4,5 – 2,25)	10,35 - 5,18

Примечание 1. Сокращение н.п. – не применяется.
Примечание 2. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих $\pm 5\%$.

Ниже описана разработанная и изготовленная в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» установка У-ГИГ, предназначенная для испытания ТС на невосприимчивость к низкочастотным гармоникам и интергармоникам путем создания в цепи электропитания ТС всех видов гармоник и интергармоник по [1]. Основные технические и конструктивные параметры испытательной установки У-ГИГ приведены в табл. 3.

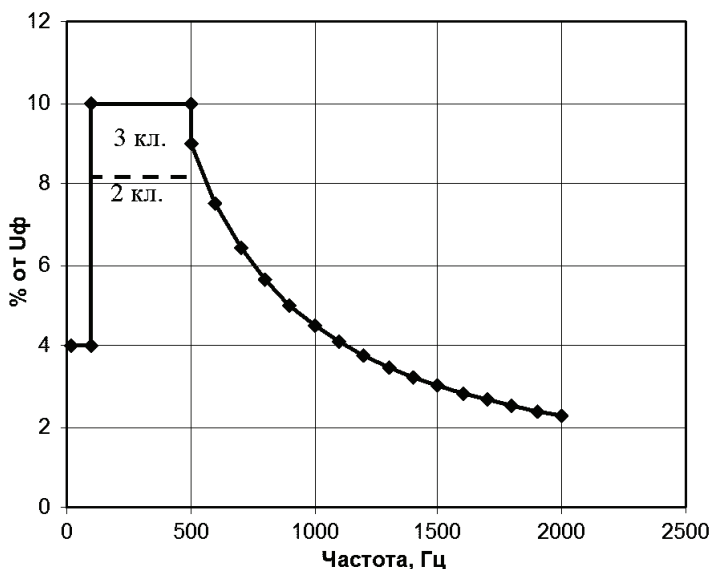


Рисунок 2 – Циклограмма изменения СКЗ напряжения гармоник в режиме испытаний «Кривая Мейстера»

Таблица 5 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Отдельные гармоники»

Гармоника		Класс					
		1		2		3	
Номер	Частота, Гц	% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В
1	2	3	4	5	6	7	8
2	100	3	6,9	3	6,9	5	11,5
3	150	4,5	10,35	8	18,4	9	20,7
4	200	1,5	3,45	1,5	3,45	2	4,6
5	250	4,5	10,35	9	20,7	12	27,6
6	300	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
7	350	4,5	10,35	7,5	17,25	10	23
8	400	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
9	450	2	4,6	2,5	5,75	4	9,2
10	500	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
11	550	4,5	10,35	5	11,5	7	16,1
12	600	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
13	650	4	9,2	4,5	10,35	7	16,1
14	700	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
15	750	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	3	6,9
16	800	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
17	850	3	6,9	3	6,9	6	13,8

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8
18	900	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
19	950	2	<i>4,6</i>	2	<i>4,6</i>	6	<i>13,8</i>
20	1000	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
21	1050	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	2	<i>4,6</i>
22	1100	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
23	1150	2	<i>4,6</i>	2	<i>4,6</i>	6	<i>13,8</i>
24	1200	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
25	1250	2	<i>4,6</i>	2	<i>4,6</i>	6	<i>13,8</i>
26	1300	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
27	1350	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	2	<i>4,6</i>
28	1400	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
29	1450	1,5	<i>3,45</i>	1,5	<i>3,45</i>	5	<i>11,5</i>
30	1500	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
31	1550	1,5	<i>3,45</i>	1,5	<i>3,45</i>	3	<i>6,9</i>
32	1600	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
33	1650	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	2	<i>4,6</i>
34	1700	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
35	1750	1,5	<i>3,45</i>	1,5	<i>3,45</i>	3	<i>6,9</i>
36	1800	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
37	1850	1,5	<i>3,45</i>	1,5	<i>3,45</i>	3	<i>6,9</i>
38	1900	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
39	1950	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	2	<i>4,6</i>
40	2000	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>

Примечание 1. Все гармоники со 2 по 9 имеют фазы 0 и 180° к синусоиде основной гармоники электропитания.

Примечание 2. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих – ± 5 %.

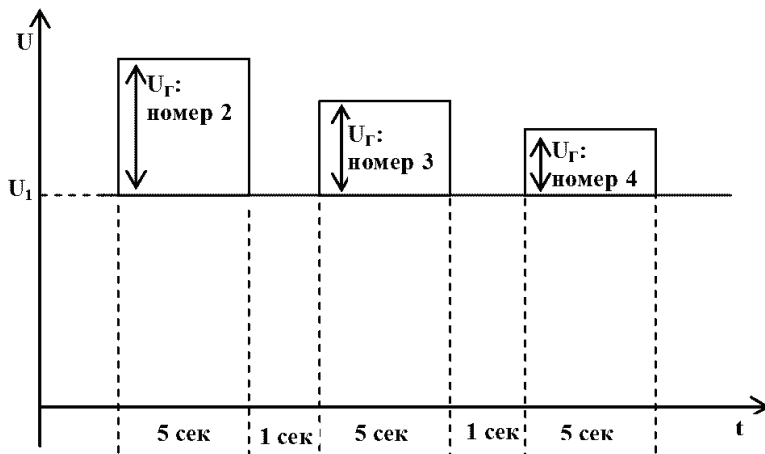


Рисунок 3 – Циклограмма гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Отдельные гармоники»

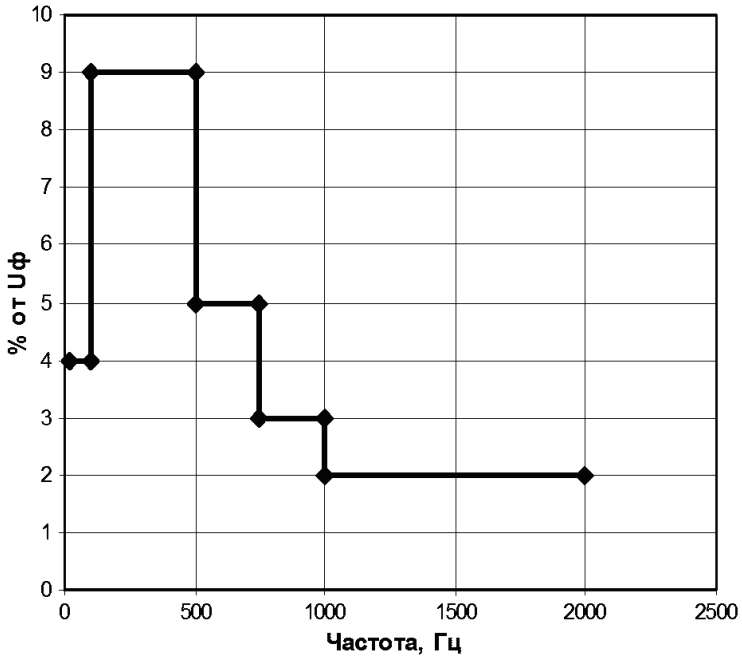


Рисунок 4 – Циклограмма изменения СКЗ напряжения гармоник в режиме генерирования «Интергармоники» для класса 3

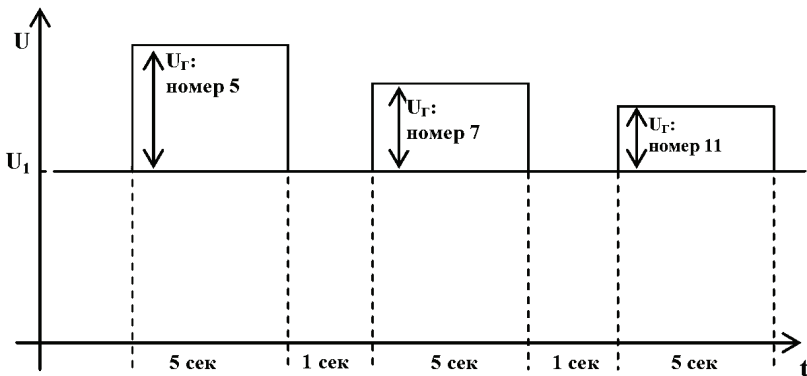


Рисунок 5 – Циклограмма гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме «Нечетные гармоники, некратные 3»

Примечание. Все гармоники с 5 по 9 имеют фазы 0° и 180° к синусоиде основной гармоники электропитания.

Таблица 6 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Интергармоники»

Полоса частот, Гц	Время изменения частоты, не менее, сек.	Класс					
		1		2		3	
		% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В
16-100	300	н.п.	-	2,5	5,75	4	9,2
100-500	130	н.п.	-	5	11,5	9	20,7
500-750	85	н.п.	-	3,5	8,05	5	11,5
750-1000	85	н.п.	-	2	4,6	3	6,9
1000-2000	300	н.п.	-	1,5	3,45	2	4,6

Примечание. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих $\pm 5\%$.

Таблица 7 – СКЗ и форма гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме генерирования «Нечетные гармоники, не кратные 3»

Гармоника		Класс					
		1		2		3	
Номер	Частота, Гц	% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В
1	2	3	4	5	6	7	8
5	250	4,5	10,35	9	20,7	12	27,6
7	350	4,5	10,35	7,5	17,25	10	23
11	550	4,5	10,35	5	11,5	7	16,1
13	650	4	9,2	4,5	10,35	7	16,1
17	850	3	6,9	3	6,9	6	13,8
19	950	2	4,6	2	4,6	6	13,8
23	1150	2	4,6	2	4,6	6	13,8
25	1250	2	4,6	2	4,6	6	13,8
29	1450	1,5	3,45	1,5	3,45	5	11,5
31	1550	1,5	3,45	1,5	3,45	3	6,9
35	1750	1,5	3,45	1,5	3,45	3	6,9
37	1850	1,5	3,45	1,5	3,45	3	6,9

Примечание. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих $\pm 5\%$.

Таблица 8 – Основные технические и конструктивные параметры испытательной установки

Наименование характеристики	Размерность	Величина
Напряжение питания установки У-ГИГ	В	220
	Гц	50
Потребляемая мощность, не более	кВ А	5
Время готовности установки к использованию, не более	мин	15
Время непрерывной работы, не более	час	8
Габаритные размеры, не более: – генератора Г-ГИГ – усилителя мощности УМ	мм	480x210x495
		482x88x500
Масса, не более: – генератора Г-ГИГ – усилителя мощности УМ	кг	15
		30

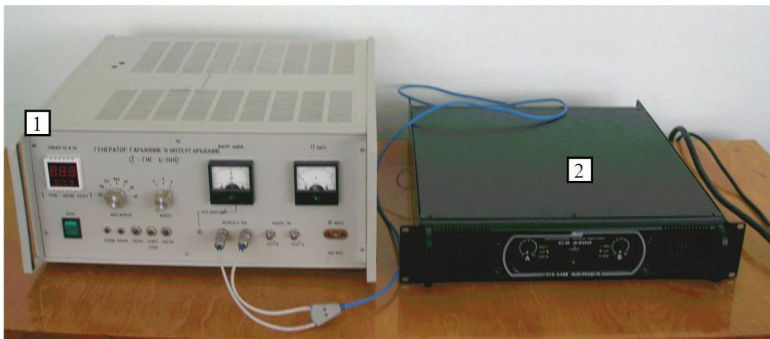


Рисунок 6 – Общий вид установки У-ГИГ:
1 – генератор Г-ГИГ; 2 – низкочастотный усилитель мощности УМ

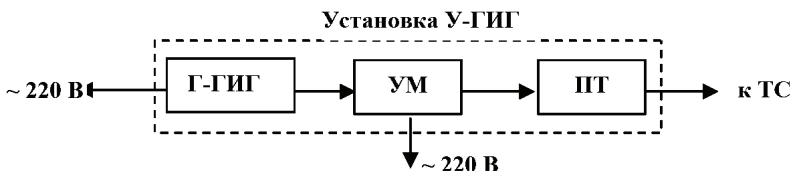


Рисунок 7 – Структурная схема установки У-ГИГ: Г-ГИГ – генератор Г-ГИГ;
УМ – усилитель мощности; ПТ – повышающий трансформатор

Общий вид установки У-ГИГ приведен на рисунке 6, а структурная схема – на рис. 7.

Генератор Г-ГИГ собран в металлическом корпусе и его общий вид показан на рис. 8.



Рисунок 8 – Общий вид генератора Г-ГИГ

Установка У-ГИГ представляет собой автономный источник питания ТС напряжением 220 В частотой 50 Гц и мощностью до 4 кВт. Установка генерирует практически идеальную синусоиду с коэффициентом гармоник менее 1 %. Это необходимо для того, чтобы исключить питание ТС от промышлен-

ной электросети, которая содержит много разных гармоник, то есть является «грязной».

На передней панели генератора Г-ГИГ расположены следующие органы управления и контроля:

– клавиша СЕТЬ с подсветкой служит для подачи напряжения питания 220 В 50 Гц на генератор У-ГИГ и для его отключения после окончания работы;

– переключатель ВИД ИСПЫТ. служит для установления вида испытаний и имеет семь положений:

- ОС – «Ограниченная синусоида»
- ТИ – «Треугольные импульсы»;
- ПЧ – «Перестройка частоты»;
- КМ – «Кривая Мейстера»;
- ОГ – «Отдельные гармоники»;
- ИГ – «Интергармоники»;
- НГ – «Нечетные гармоники, не кратные 3».

– переключатель КЛАСС служит для установления класса электромагнитной обстановки и имеет 3 положения: «1», «2», «3»;

– ТАЙМЕР ОС И ТИ служит для установления длительности испытаний вида ОС и ТИ, при этом кнопка МЕНЮ на ТАЙМЕРЕ служит для установления длительности испытаний, кнопка СТАРТ на ТАЙМЕРЕ служит для увеличения длительности испытаний при нажатой кнопке МЕНЮ, а кнопка СТОП служит для уменьшения длительности испытаний при нажатой кнопке МЕНЮ. Кроме того, при выключенной кнопке МЕНЮ кнопка СТАРТ служит для включения генератора в режимы испытаний видов ОС и ТИ, а кнопка СТОП для выключения этих видов испытаний;

– микроамперметр КОНТР. АМПЛ. служит для контроля правильности работы генератора;

– вольтметр $U_{\text{НАГР}}$ служит для установки выходного напряжения 230 (220) В 50 Гц;

– разъемы ВЫХОД К УМ (0° и 180°) служит для выдачи двух идентичных по амплитуде, но противоположных по фазе выходных сигналов для подключения к усилителю мощности;

– потенциометр УСТ. 0 ± 15 мкА служит для первоначальной установки режимов работы генератора по микроамперметру КОНТР. АМПЛ.;

– разъемы КОНТР. ТИ (150 Гц и 250 Гц) служат для контроля работы генератора в режиме ТИ;

– кнопка СТАРТ служит для перевода генератора в режимы генерирования видов ПЧ, КМ, ОГ, ИГ и НГ;

– кнопка СТОП служит для возвращения генератора в начальное состояние режимов генерирования видов ПЧ, КМ, ОГ, ИГ и НГ;

– кнопка ПАУЗА служит для приостановки режимов генерирования видов ПЧ, КМ, ОГ, ИГ и НГ в любом месте циклограммы, а при повторном на-

жатию ее – для возобновления режимов генерирования видов ПЧ, КМ, ОГ, ИГ и НГ;

– кнопка СБРОС служит для перевода генератора в исходное состояние;

На задней панели генератора Г-ГИГ (рис. 9) расположены следующие органы управления и контроля:

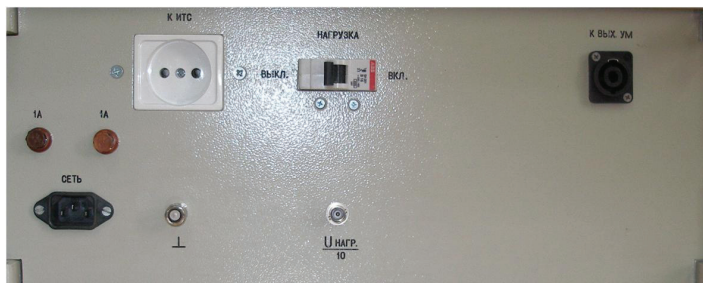


Рисунок 9 – Задняя панель генератора Г-ГИГ

– НАГРУЗКА служит для подключения к генератору испытываемого технического средства;

– автомат защиты НАГРУЗКА служит для включения ИТС, а также для защиты генератора от перегрузки;

– разъем К ВЫХ. УМ служит для подключения выхода усилителя мощности к выходному (повышающему) трансформатору.

На рис. 10-12 показаны результаты измерения выходного напряжения на выходе установки У-ГИГ в разных режимах работы.

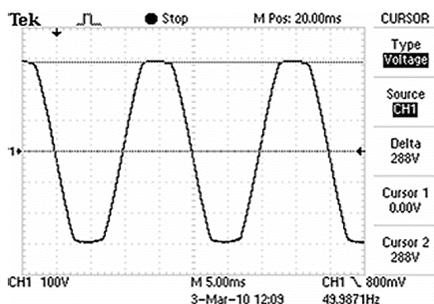


Рисунок 10 – Типовая оциллограмма напряжения в режиме генерирования «Ограниченная синусоида»

В режимах «Перестройка частоты», «Кривая Мастера» и «Интергармоники» на основную частоту электропитания 50 Гц непрерывно накладываются гармонические составляющие с частотами от 16 Гц до 2 кГц, отличающиеся друг от друга только амплитудами этих составляющих (см. табл. 3, 4 и 6).

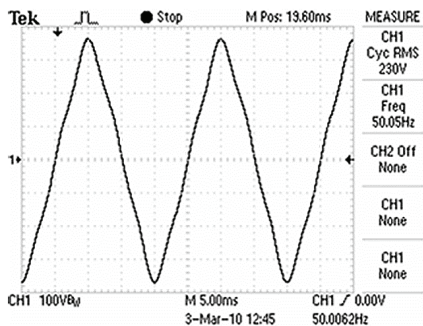


Рисунок 11 – Типовая осциллограмма напряжения в режиме генерирования «Треугольные импульсы»

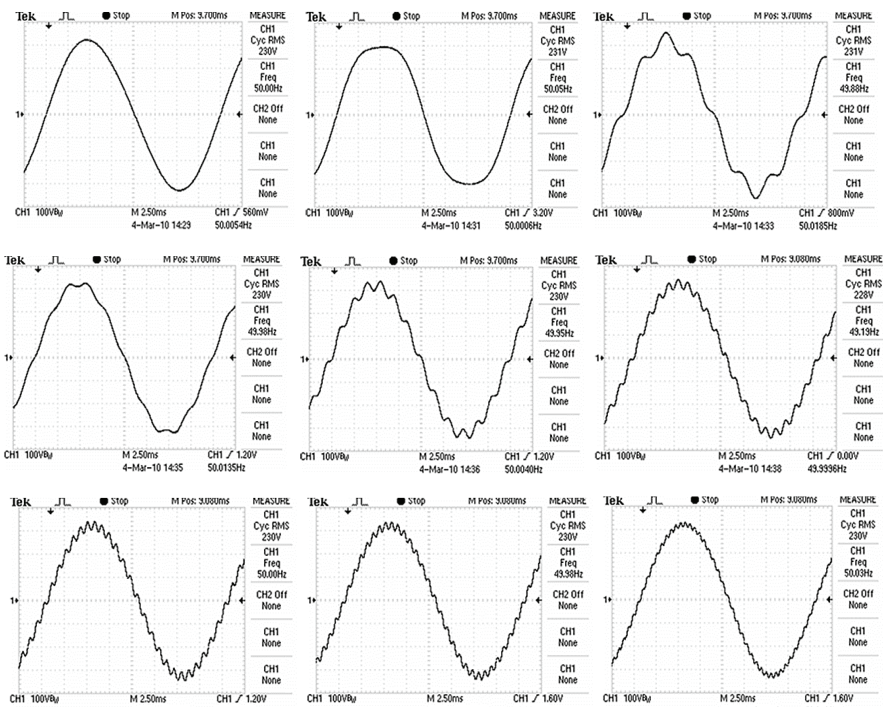


Рисунок 12 – Типовые осциллограммы полного напряжения электропитания в режимах генерирования «Перестройка частоты», «Кривая Мейстера», «Отдельные гармоники», «Интергармоники» «Нечетные гармоники, не кратные 3»

В режимах «Отдельные гармоники» и «Нечетные гармоники, не кратные 3» на основную частоту электропитания 50 Гц дискретно накладываются гармонические составляющие с параметрами по табл. 5 и 7.

Порядок работы при испытаниях ТС по данному стандарту регламентируется 4 видами алгоритмов испытаний:

- № 1: испытание ТС классов 1 и 2 без систем передачи сигналов по портам электропитания;
- № 2: испытание ТС классов 1 и 2 с системами передачи сигналов по портам электропитания;
- № 3: испытание ТС класса 3 без систем передачи сигналов по портам электропитания;
- № 4: испытание ТС класса 3 с системами передачи сигналов по портам электропитания.

Поэтому испытания ТС начинаются с анализа документации ТС с целью выбора необходимого алгоритма испытаний, после чего и начинаются сами испытания.

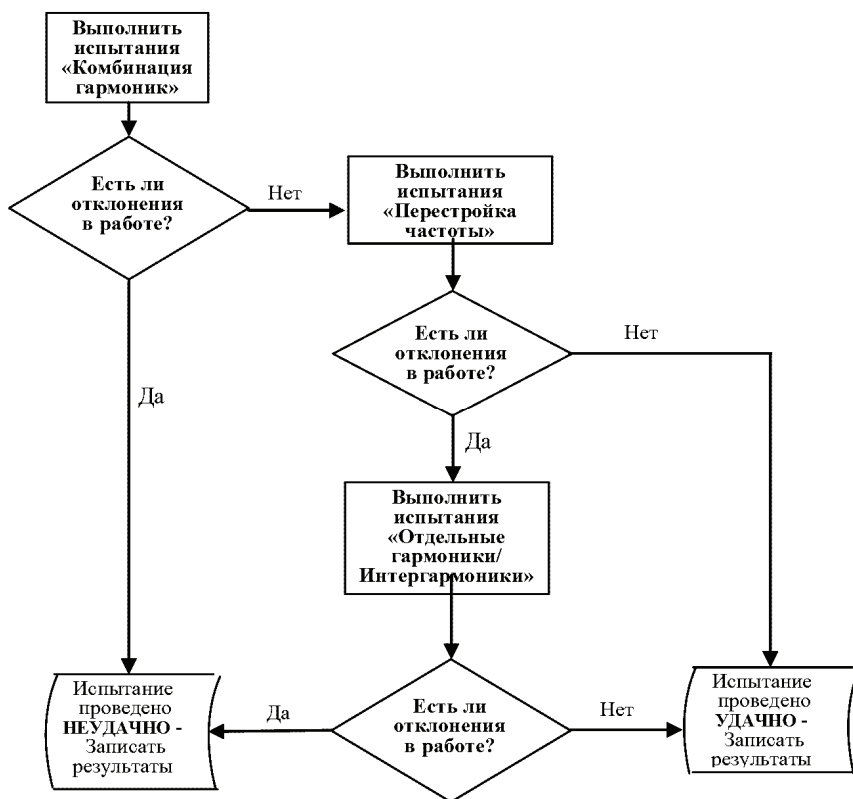


Рисунок 13 – Процедура испытаний по алгоритму № 3

Рассмотрим процедуру испытаний ТС наиболее часто встречающегося в нашей практике алгоритма № 3 (рис. 13).

По этому алгоритму необходимо сначала выполнить два основных для всех видов алгоритмов испытания видов: «Ограниченная синусоида» и «Треугольные импульсы». Если у ТС есть отклонения в работе, то испытания завершаются с результатом «Неудачно». Если у ТС нет отклонений в работе, то необходимо перейти к следующему виду испытаний «Перестройка частоты».

Если у ТС нет отклонений в работе и по этому виду, то испытания завершаются с результатом «Удачно», а если отклонения есть, то необходимо продолжить испытания видами «Отдельные гармоники» и «Интергармоники». Если и в этом случае у ТС есть отклонения в работе, то испытания завершаются с результатом «Неудачно», а если нет – испытания завершаются с результатом «Удачно».

Установка У-ГИГ успешно прошла государственную аттестацию и успешно применяется в испытательной лаборатории НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» для проведения различного рода испытаний ТС, включая сертификационные, к низкочастотным гармоникам и интергармоникам путем создания в цепи электропитания ТС всех видов гармоник и интергармоник (по ДСТУ ІЕС 61000-4-13:2009).

Список литературы: 1. ДСТУ ІЕС 61000-4-13:2009 (Електромагнітна сумісність (ЕМС). Частина 4-13: Методиكي випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до низькочастотних гармонік та інтергармонік, зокрема до сигналів систем передавання на портах мережи живлення змінного струму.

Поступила в редколлегию 17.10.2012

УДК 621.317.3

Установка У-ГИГ для испытаний технических средств на невосприимчивость к низкочастотным гармоникам и интергармоникам, включая сигналы систем передачи на портах сети питания переменного тока // В. В. Князев, Ю. С. Немченко, И. П. Лесной, С. Б. Сохмиев, А. Ю. Скобликов / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 109-121. – Бібліогр.: 1 назв.

Описано конструкцію і результати атестації установки У-ГИГ, призначеної для випробувань технічних засобів на несприйнятливість до низькочастотних гармонік та інтергармонік, включаючи сигнальні системи передавання на портах електромережі змінного струму, згідно з діючими в Україні стандартами.

Ключові слова: гармоніки, інтергармоніки; крива Мейстера; окремі гармоніки; непарні гармоніки не кратні 3, перестройка частоти.

The design and results of the qualification of the device named «U-GIG», intended for test the technical facilities for immunity to low frequency harmonics and interharmonics including mains signaling at a. c. power port immunity tests, in accordance with acting in Ukraine standard

Keywords: harmonics, interharmonics, Meister curve, individual harmonics, odd harmonics multiple of 3 harmonics, sweep in frequency.