

УДК 621.314

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ И ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА

**О. Г. ШИРОКОВ, Т. В. АЛФЁРОВА, В. В. БАХМУТСКАЯ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

*Представлены результаты исследования влияния оборудования информационных технологий (персонального компьютера, ноутбука, планшета, смартфона) на показатели несинусоидальности питающего напряжения и потребляемого тока. Экспериментально определены значения показателей несинусоидальности напряжения и тока при питании отдельных экземпляров персонального компьютера, ноутбука, планшета, смартфона при их работе или зарядке от электрической сети напряжением 220 В.*

**Ключевые слова:** показатели качества электрической энергии, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, суммарный коэффициент гармонических составляющих тока, коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения, оборудование информационных технологий, персональный компьютер, ноутбук, планшет, смартфон.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF INFORMATION TECHNOLOGY EQUIPMENT ON THE INDICATORS OF NON-SINUSOIDALITY OF THE SUPPLY VOLTAGE AND CURRENT CONSUMPTION

**O. G. SHIROKOV, T. V. ALFEROVA, V. V. BAKHMUTSKAYA**

*Educational Institution "Sukhoi State Technical University  
of Gomel", the Republic of Belarus*

*The article presents the results of the research of the influence of information technology equipment (personal computer, laptop, tablet, smartphone) on the indicators of non-sinusoidal supply voltage and consumed current. The values of voltage and current nonsinusoidality indicators were experimentally determined when powering individual copies of a personal computer, laptop, tablet, smartphone during their operation or charging from an electrical network with a voltage of 220 V.*

**Keywords:** indicators of electric energy quality, total coefficient of harmonic components of voltage, total coefficient of harmonic components of current, coefficient of  $n$ th harmonic component of voltage, information technology equipment, personal computer, laptop, tablet, smartphone.

### **Введение**

В настоящее время повсеместно расширяется применение оборудования информационных технологий, в том числе различных персональных компьютеров, ноутбуков, планшетов, смартфонов и т. д., не только на предприятиях, но и в бытовом секторе. Влияние нелинейной нагрузки, к которой относится оборудование информационных технологий, на качество электрической энергии освещено в учебной и инженерно-научной литературе [1], [2], однако производители компьютерных и информационных

устройств в их технических характеристиках не указывают степень влияния его работы на качество электрической энергии. В такой ситуации работы, направленные на оценку влияния конкретных экземпляров оборудования информационных технологий при их работе или зарядке от электрической сети на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока, являются актуальными.

Целью работы является оценка влияния конкретных экземпляров персонального компьютера, ноутбука, планшета, смартфона при их работе или зарядке от электрической сети на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока.

### **Основная часть**

#### **Оценка показателей несинусоидальности напряжения и тока, потребляемого персональным компьютером, ноутбуком, планшетом, смартфоном при их работе или зарядке от электрической сети**

Сегодня измерения напряжения гармонических составляющих должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.7–2013 [5], однако с учетом допущений, разрешаемых ГОСТ 32144–2013 [3] и ГОСТ 30804.4.30–2013 [4] (измерения класса В), некоторые задачи приборного контроля качества электрической энергии могут решаться с помощью существующих средств измерения параметров электрической энергии.

Конкретными экземплярами оборудования информационных технологий, влияние которых оценивалось на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока, являлись:

- Персональный компьютер – ПЭВМ Пилот Intel Celeron G3900. Электропитание:  $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$ ,  $f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$ ,  $I_{\text{ном}} = 2 \text{ А}$ . Характеристики: количество ядер – 2, частота процессора – 2800 МГц, видеокарта – Intel HD Graphics, оперативная память – 4 Гб, объем жесткого диска – 500 Гб.

- Ноутбук – торговая марка Lenovo модель ideapad 330-15ikb. Характеристики: модель процессора – Pentium 4415U, количество ядер – 2, частота процессора – 2 ГГц, частота оперативной памяти – 2133 МГц, тип операционной памяти – DDR4. Характеристики AC Adapter: вводное электропитание  $U = 110–240 \text{ В}$ ,  $f = 50–60 \text{ Гц}$ ,  $I = 1,8 \text{ А}$ .

- Планшет – планшетный компьютер iPad 3-го поколения, выпускаемый компанией Apple. Характеристики: центральный процессор – Apple A5X, частота процессора – 1 ГГц, система питания – литий-полимерная (Li-pol), емкость батареи – 25 Вт · ч. Характеристики зарядного устройства планшета Apple iPad 3: вводное электропитание  $U = 110–240 \text{ В}$ ,  $f = 50–60 \text{ Гц}$ ,  $I = 0,35 \text{ А}$ .

- Смартфон – продукт компании Samsung модель Galaxy a50. Характеристики: процессор – Samsung Exynos 9610, количество ядер – 8, видеопроцессор – Mali-G72 MP3, емкость аккумулятора – 4000 мА · ч, объем операционной памяти – 4 Гб. Характеристики зарядного устройства смартфона Samsung Galaxy a50: вводное электропитание  $U = 110–240 \text{ В}$ ,  $f = 50–60 \text{ Гц}$ ,  $I = 0,5 \text{ А}$ .

Значение показателей несинусоидальности напряжения и тока, потребляемого конкретными экземплярами оборудования информационных технологий, оценивалось на основании измерительной информации, полученной с помощью «Комплекса регистрации параметров электрических сигналов» (КРПЭС), подключенного по схеме, представленной на рис. 1.

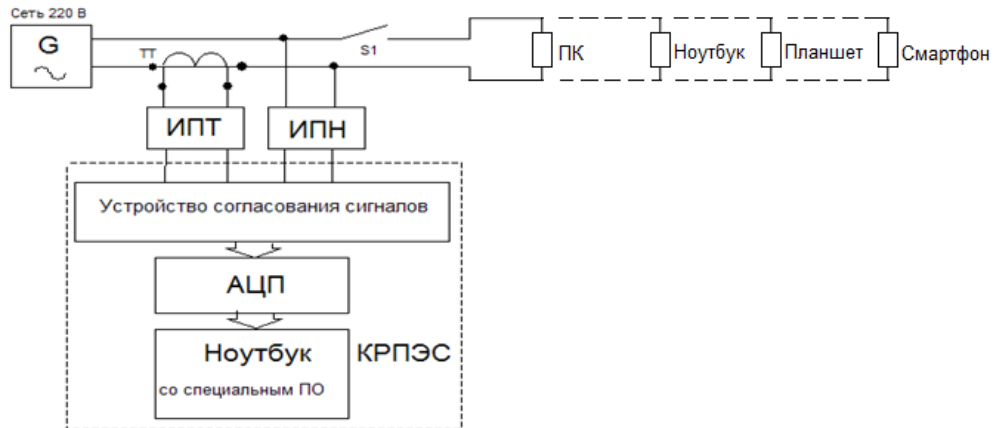


Рис. 1. Схема определения влияния конкретных экземпляров оборудования информационных технологий на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока:

ТТ – измерительный трансформатор тока; ИПТ – измерительный преобразователь тока; ИПН – измерительный преобразователь напряжения; АЦП – аналого-цифровой преобразователь

В соответствии с ГОСТ 30804.4.7–2013 суммарный коэффициент гармонических составляющих (total harmonic distortion,  $THD$ )  $THD_Y$ : отношение среднеквадратичного значения суммы всех гармонических составляющих  $Y_{H,h}$  до порядка  $h_{\max}$  среднеквадратичному значению основной составляющей  $Y_{H,1}$ :

$$THD_Y = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} \left( \frac{Y_{H,h}}{Y_{H,1}} \right)^2}. \quad (1)$$

При необходимости  $Y$  символ заменяют символом  $I$  для тока и символом  $U$  для напряжения,  $h_{\max}$  принимают равным 40, если иное значение не указано в международных стандартах, устанавливающих нормы эмиссии гармоник.

В соответствии с ГОСТ 30804.4.7–2013 суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения  $K_U$  рассчитывается по формуле

$$K_U = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{40}} \left( \frac{U_{H,h}}{U_{H,1}} \right)^2}. \quad (2)$$

В соответствии с ГОСТ 30804.4.7–2013 суммарный коэффициент гармонических составляющих тока  $THD_I$  рассчитывается по формуле

$$THD_I = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{40}} \left( \frac{I_{H,h}}{I_{H,1}} \right)^2}. \quad (3)$$

На рис. 2 и 3 представлены соответственно осциллограмма напряжения и диаграмма частотного спектра напряжения в точке питания до подключения оборудования информационных технологий, влияние которых оценивалось на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока.

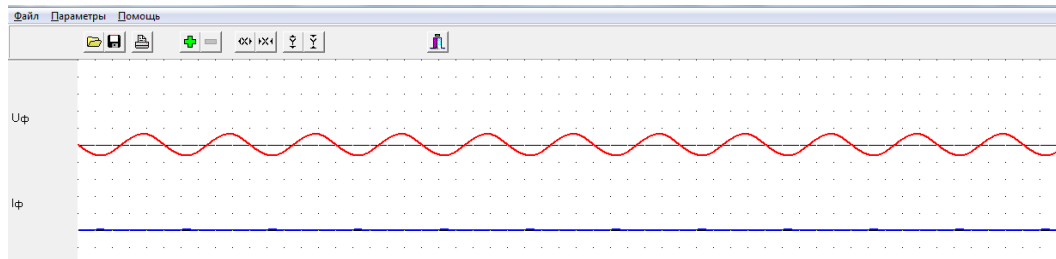


Рис. 2. Осциллограмма напряжения в точке питания до подключения оборудования информационных технологий

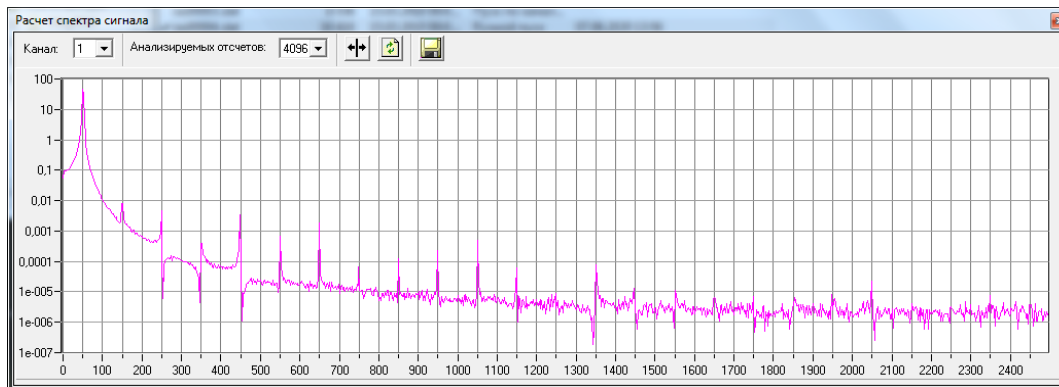


Рис. 3. Диаграмма частотного спектра напряжения в точке питания до подключения оборудования информационных технологий

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения  $K_U$ , согласно формуле (2), составил:  $K_U = 0,017 \%$ .

На рис. 4 представлены осциллограммы напряжения и тока в точке питания персонального компьютера Пилот Intel Celeron G3900.

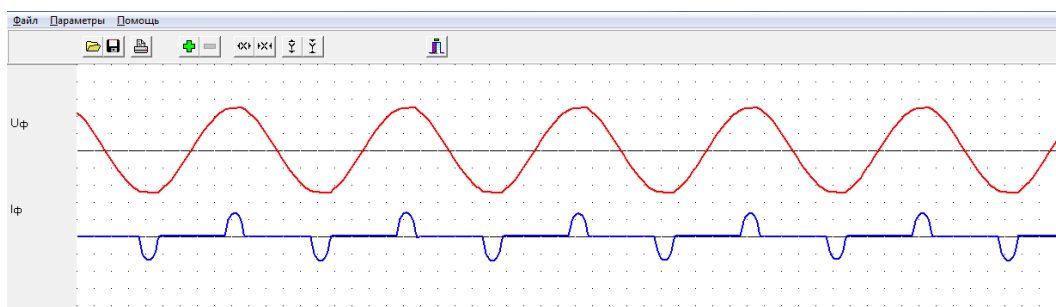


Рис. 4. Осциллограммы напряжения и тока в точке питания персонального компьютера Пилот Intel Celeron G3900

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания персонального компьютера Пилот Intel Celeron G3900  $K_U$ , согласно формуле (2), составляет:  $K_U = 0,019 \%$ .

В табл. 1 представлен спектр гармоник тока в точке питания персонального компьютера Пилот Intel Celeron G3900.

Таблица 1

**Спектр гармоник тока в точке питания персонального компьютера  
Пилот Intel Celeron G3900**

Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.
1	0,3695179	15	0,0000924	29	0,0000298
2	0,0000359	16	0,00000214	30	0,0000002
3	0,2757118	17	0,00000012	31	0,0000003
4	0,0000130	18	0,0000012	32	0,0000004
5	0,1411873	19	0,0000144	33	0,0000001
6	0,0000034	20	0,00000116	34	0,0000002
7	0,0461000	21	0,00000101	35	0,0000042
8	0,0000051	22	0,0000019	36	0,0000002
9	0,0076000	23	0,0000361	37	0,0000094
10	0,0000039	24	0,0000019	38	0,0000004
11	0,0001750	25	0,000566	39	0,0000098
12	0,0000019	26	0,00000071	40	0,0000005
13	0,0001850	27	0,0002420	–	–
14	0,0000018	28	0,000000266	–	–

На рис. 5 представлена диаграмма коэффициентов  $n$ -х гармонических составляющих тока  $K_{I(n)}$  в точке питания персонального компьютера Пилот Intel Celeron G3900.

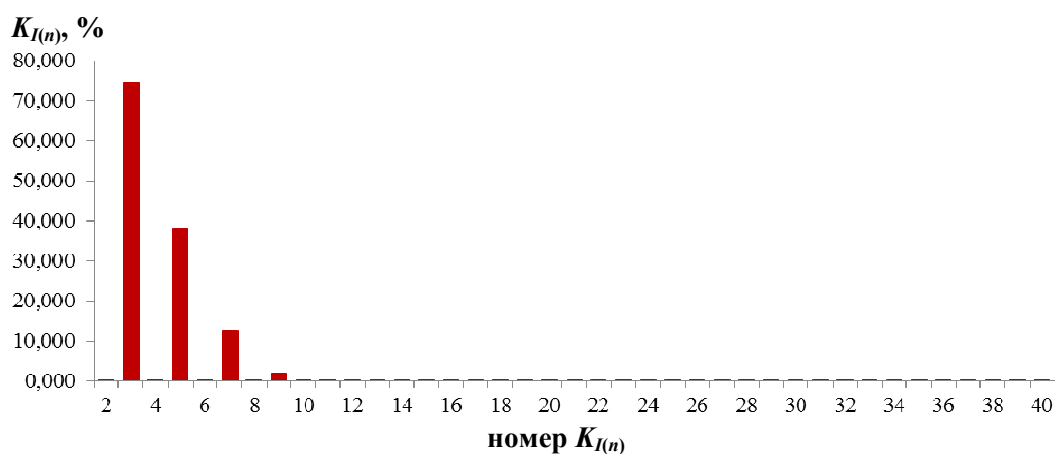


Рис. 5. Диаграмма коэффициентов  $n$ -ых гармонических составляющих тока  $K_{I(n)}$  в точке питания персонального компьютера Пилот Intel Celeron G3900

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока в точке питания персонального компьютера Пилот Intel Celeron G3900  $THD_I$ , согласно формуле (3), составляет:  $THD_I = 84,776 \%$ .

На рис. 6 представлены осциллограммы напряжения и тока в точке питания ноутбука Lenovo ideapad 330-15ikb.

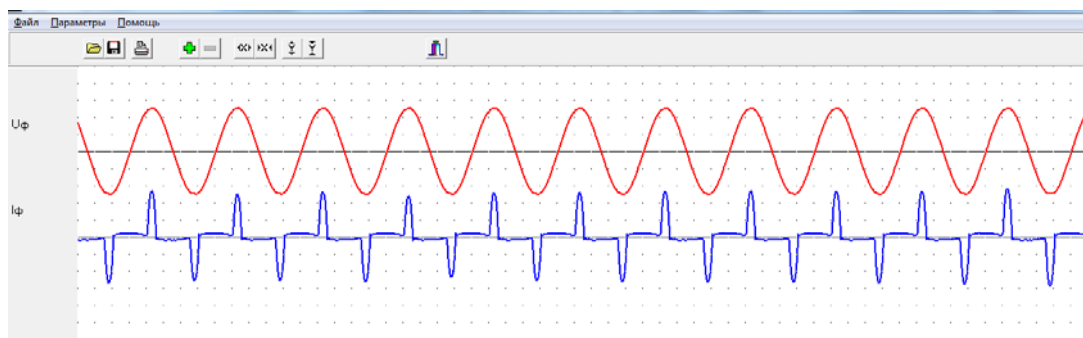


Рис. 6. Осциллограммы напряжения и тока в точке питания ноутбука Lenovo ideapad 330-15ikb

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания ноутбука Lenovo ideapad 330-15ikb  $K_U$ , согласно формуле (2), составляет:  $K_U = 0,009 \%$ .

В табл. 2 представлен спектр гармоник тока в точке питания ноутбука Lenovo ideapad 330-15ikb.

Таблица 2

Спектр гармоник тока в точке питания ноутбука Lenovo ideapad 330-15ikb

Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.
1	0,3336680	15	0,000806284	29	0,0004445595
2	0,0000063	16	9,62613E-07	30	0,0000000761
3	0,2712575	17	0,001034995	31	0,0003156077
4	0,0000083	18	5,00758E-07	32	0,0000000057
5	0,1745072	19	0,000498475	33	0,0000294338
6	0,0000065	20	1,80678E-07	34	0,0000000488
7	0,0847362	21	0,0001297554	35	0,0000392877
8	0,0000035	22	0,0000000372	36	0,0000000431
9	0,0305472	23	0,0000370354	37	0,0000619497
10	0,0000012	24	0,0000003156	38	0,0000001533
11	0,0053862	25	0,0000848056	39	0,0000784524
12	0,0000001	26	0,0000001104	40	0,0000000951
13	0,0002966	27	0,0004122745	–	–
14	0,0000005	28	0,0000000312	–	–

На рис. 7 представлена диаграмма коэффициентов  $n$ -х гармонических составляющих тока  $K_{I(n)}$  в точке питания ноутбука Lenovo ideapad 330-15ikb.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока в точке питания питания ноутбука Lenovo ideapad 330-15ikb  $THD_I$ , согласно формуле (3), составляет:  $THD_I = 100,38 \%$ .

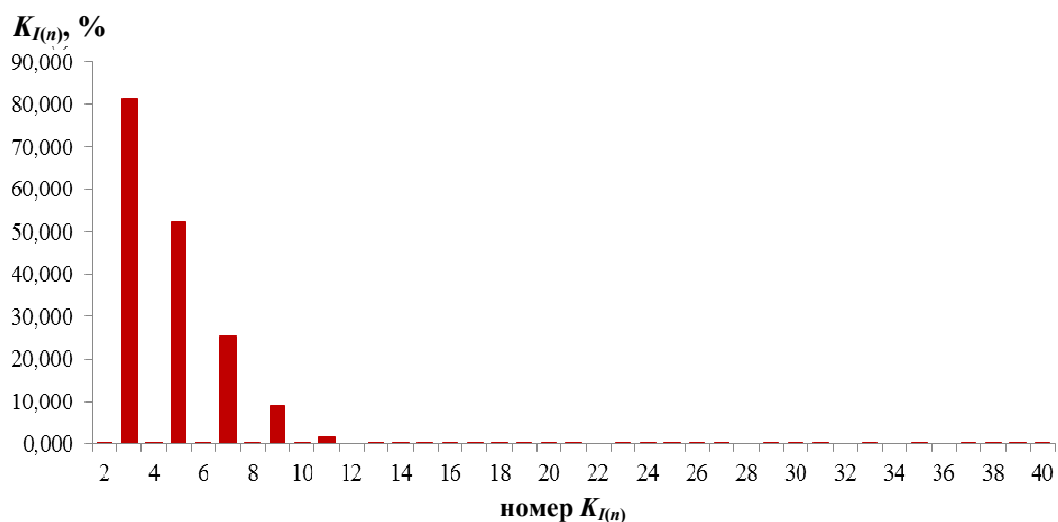


Рис. 7. Диаграмма коэффициентов  $n$ -х гармонических составляющих тока  $K_{I(n)}$  в точке питания питания ноутбука Lenovo ideapad 330-15ikb

На рис. 8 представлены осциллограммы напряжения и тока в точке питания планшета Apple iPad 3.

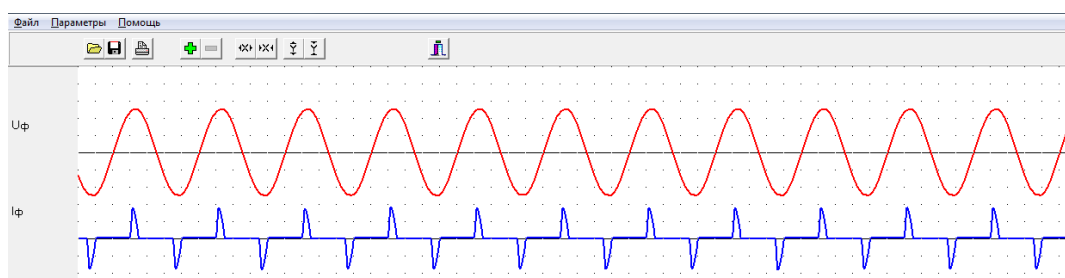


Рис. 8. Осциллограммы напряжения и тока в точке питания планшета Apple iPad 3

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания планшета Apple iPad 3  $K_U$ , согласно формуле (2), составляет:  $K_U = 0,009 \%$ .

В табл. 3 представлен спектр гармоник тока в точке питания планшета Apple iPad 3.

Таблица 3

Спектр гармоник тока в точке питания планшета Apple iPad 3

Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.
1	0,3083004	15	0,000985163	29	0,0002726488
2	0,0000052	16	6,33615E-07	30	0,0000000148
3	0,2606518	17	0,00077746	31	0,0002324616
4	0,0000069	18	3,66767E-07	32	0,0000000287
5	0,1734250	19	0,000382176	33	0,0001128950
6	0,0000086	20	9,86766E-08	34	0,0000000886
7	0,0906452	21	0,0000937449	35	0,0000306652
8	0,0000066	22	0,0000000098	36	0,0000000320
9	0,0357182	23	0,0000080505	37	0,0000043693

Окончание табл. 3

Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.
10	0,0000043	24	0,000000087	38	0,000000088
11	0,0098404	25	0,0002643083	39	0,0000004542
12	0,0000022	26	0,0000001993	40	0,0000000229
13	0,0021067	27	0,0001816063	–	–
14	0,0000011	28	0,0000000774	–	–

На рис. 9 представлена диаграмма коэффициентов  $n$ -х гармонических составляющих тока  $K_{I(n)}$  в точке питания планшета Apple iPad 3.

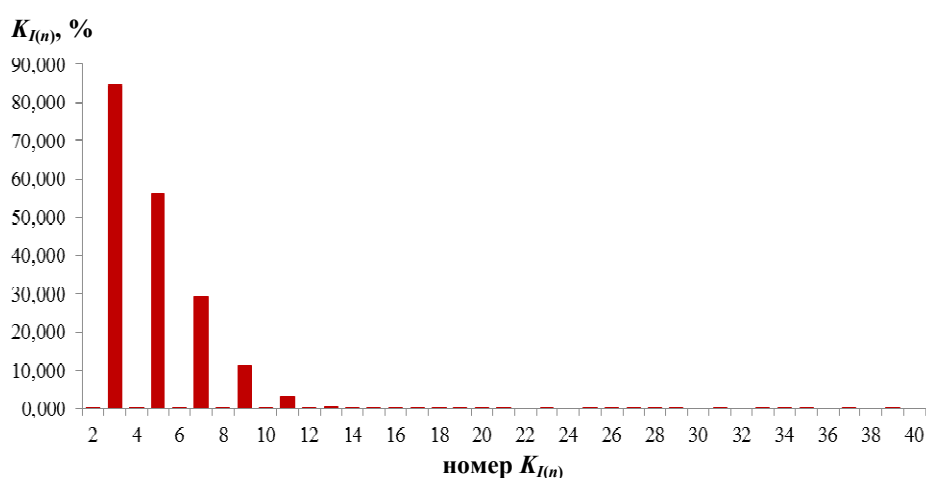


Рис. 9. Диаграмма коэффициентов  $n$ -х гармонических составляющих тока  $K_{I(n)}$  в точке питания планшета Apple iPad 3

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока в точке питания планшета Apple iPad 3  $THD_I$ , согласно формуле (3), составляет:  $THD_I = 106,40 \%$ .

На рис. 10 представлены осциллограммы напряжения и тока в точке питания смартфона Samsung Galaxy a50.

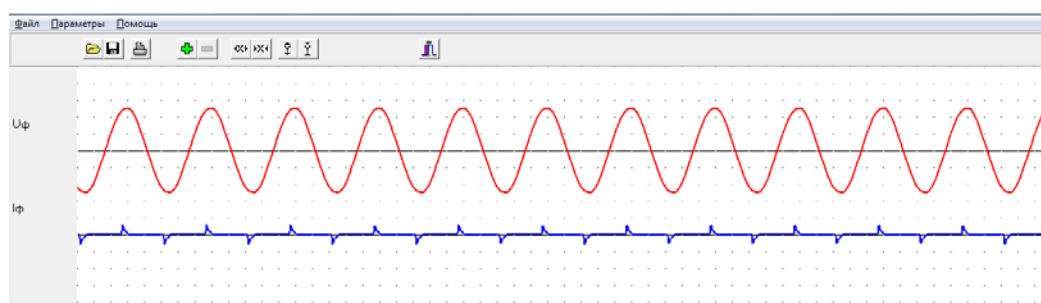


Рис. 10. Осциллограммы напряжения и тока в точке питания смартфона Samsung Galaxy a50

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания смартфона Samsung Galaxy a50  $K_U$ , согласно формуле (2), составляет:  $K_U = 0,008 \%$ .



В табл. 4 представлен спектр гармоник тока в точке питания смартфона Samsung Galaxy a50.

Таблица 4

Спектр гармоник тока в точке питания смартфона Samsung Galaxy a50

Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.	Номер гармоники	Спектр, о. е.
1	0,2115834	15	0,000890956	29	0,002131539
2	0,0000025	16	2,06301E-06	30	0,000002440
3	0,1896983	17	0,000121615	31	0,000832224
4	0,0000065	18	8,43711E-07	32	0,000000879
5	0,1271111	19	3,25082E-05	33	0,000202545
6	0,0000335	20	1,66436E-08	34	0,000000437
7	0,0691466	21	0,000352080	35	0,000012196
8	0,0000168	22	0,000000756	36	0,000000105
9	0,0294230	23	0,000668845	37	0,000058465
10	0,0000089	24	0,000001098	38	0,000000156
11	0,0102730	25	0,008521092	39	0,000164635
12	0,0000058	26	0,000006836	40	0,000000005
13	0,0031282	27	0,004546466	–	–
14	0,0000023	28	0,000004000	–	–

На рис. 11 представлена диаграмма коэффициентов  $n$ -х гармонических составляющих тока  $K_{I(n)}$  в точке питания смартфона Samsung Galaxy a50.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока в точке питания смартфона Samsung Galaxy a50  $THD_I$ , согласно формуле (3), составляет:  $THD_I = 113,83 \%$ .

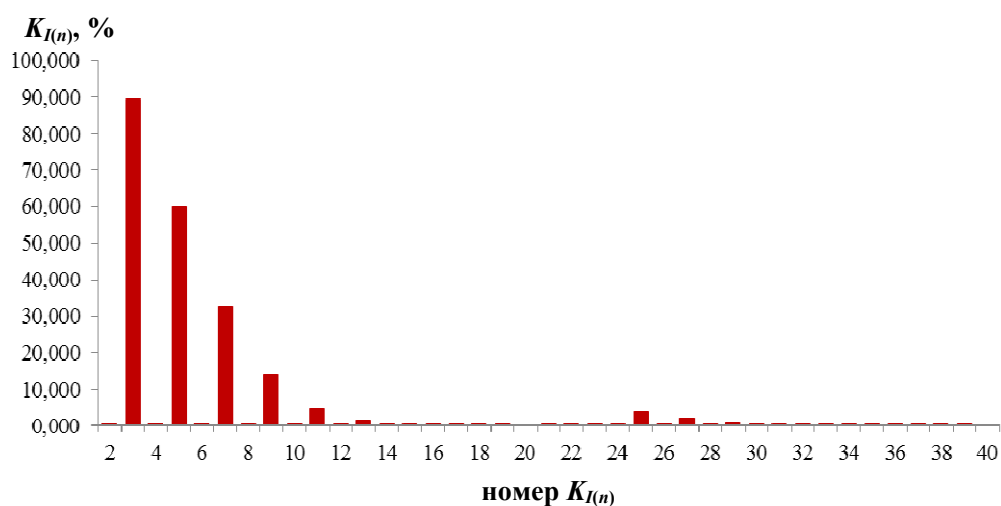


Рис. 11. Диаграмма коэффициентов  $n$ -х гармонических составляющих тока  $K_{I(n)}$  в точке питания смартфона Samsung Galaxy a50

### Заключение

Таким образом, влияние оборудования информационных технологий в виде рассматриваемых персонального компьютера, ноутбука, планшета, смартфона на показатели несинусоидальности напряжения крайне незначительны, поскольку суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения  $K_U$  в точке питания не превышал  $K_U = 0,019$  %, при значении 8 %, которое, согласно [3], нельзя превышать с 95%-й вероятностью. Это в основном связано с незначительной единичной мощностью рассматриваемого оборудования информационных технологий. Тем не менее в случае достаточного увеличения доли таких электроприемников в точке питания следует ожидать заметного их влияния на несинусоидальность напряжения.

Кривые потребляемого тока персональным компьютером, ноутбуком, планшетом, смартфоном имеют ярко выраженный несинусоидальный характер. Суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока  $THD_I$  в настоящее время не нормируются ГОСТ 32144–2013 [3], но довольно значительны и составляют: для персонального компьютера Пилот Intel Celeron G3900  $THD_I = 84,776$  %; ноутбука Lenovo ideapad 330-15ikb  $THD_I = 100,38$  %; планшета Apple iPad 3  $THD_I = 106,40$  %; смартфона Samsung Galaxy a50  $THD_I = 113,83$  %.

### Литература

1. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / И. В. Жежеленко [и др.] ; под ред. И. В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 296 с.
2. Влияние высших гармоник тока на режимы работы кабелей распределительной сети 380 В / В. Н. Тульский [и др.] // Пром. энергетика. – 2013. – № 5. – С. 42–47.
3. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : ГОСТ 32144–2013 (EN 50160 : 2010, NEQ). – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2015.
4. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии : ГОСТ 30804.4.30–2013 (IEC 61000-4-30 : 2008). – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2014.
5. Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств : ГОСТ 30804.4.7–2013 (IEC 61000-4-7 : 2009). – Минск : Госстандарт Республики Беларусь. – 2014.

Получено 08.06.2022 г.