УДК 665.63.004.12

С.Ю.ТЯГУШЕВ
Горно-электромеханический факультет,
группа ЭР-02-1, ассистент профессора
В.В.СОБОЛЕВ
аспирант кафедры электротехники и электромеханики

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ С НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКОЙ

Статья посвящена оценке параметров качества электрической энергии сети Горного института. В результате экспериментальных исследований и компьютерного моделирования установлено влияние несинусоидальных токов блоков питания персональных компьютеров на степень искажения напряжения и уровень превышения тока нейтрали допустимого значения.

This paper estimates quality parameters of electrical energy in the electrical network of the St. Petersburg State Mining Institute. Experimental investigation and computer simulation helped to establish the influence of non-sinusoidal currents of PC power units on the degree of voltage distortion and overrating of neutral current.

Наличие нелинейной нагрузки в системах электроснабжения вызывает в распределительных сетях несинусоидальные токи, спектр которых охватывает частоты до нескольких килогерц в зависимости от типа нагрузки и особенностей сети. Высшие гармоники вызывают дополнительные потери и сверхнормативный нагрев электрического оборудования. Другим негативным фактором является искажение формы напряжения источника, которое воздействует на оборудование, рассчитанное на питание от источника синусоидального напряжения [3].

Уровень искажения оценивается коэффициентом гармоник *THDU*, который равен отношению действующего значения высших гармоник U_h к действующему значению первой гармоники U_1:

$$THDU = \frac{U_h}{U_1} = \sqrt{\sum_{k=2}^{n} \overline{U}k^2}\ ,\ \ \overline{U}_k = \frac{U_k}{U_1},$$

где U_k – действующее значение k-й из n учитываемых гармоник.

В соответствии с ГОСТ 13109-97 коэффициент гармоник не должен превышать $THDU \le 5$ % [1].

Работа посвящена оценке параметров качества напряжения сети СПГГИ(ТУ). Для измерения использовались датчики напряжения и тока на эффекте Холла фирмы LEM, плата сбора данных National Instrument, персональный компьютер, пакет визуального программирования LabView 6.1 и сформированные с помощью этого пакета виртуальные приборы: осциллограф, спектроанализатор, измерители действующего и пикового значений сигнала. Измерения проводились в точках питания лабораторий кафедры электротехники и электромеханики.

Измерения показали, что напряжения фаз сети являются несинусоидальными и отличаются по форме. Искажения выражены в срезе пиков и изгибе участков нарастания и спада напряжения (рис.1).

Спектральный состав напряжения показал следующее:

Номер гармоники, n	1	2	3	4	5	6
U, В	217,5	219,3	219,6	217,3	220,4	217,9
U_1, В	217,1	218,8	219,2	216,8	219,8	217,4
U_3, В	11,7	12,4	11,5	11,9	12,7	11,8
U_5, В	6,5	8,2	6,3	7,5	8,1	7,6
$\overline{U}_3$, %	5,4	5,7	5,3	5,5	5,8	5,5
$\overline{U}_5$, %	3	3,8	2,9	3,5	3,7	3,5
THDU %	6,2	6,8	6	6,5	6,9	6,5

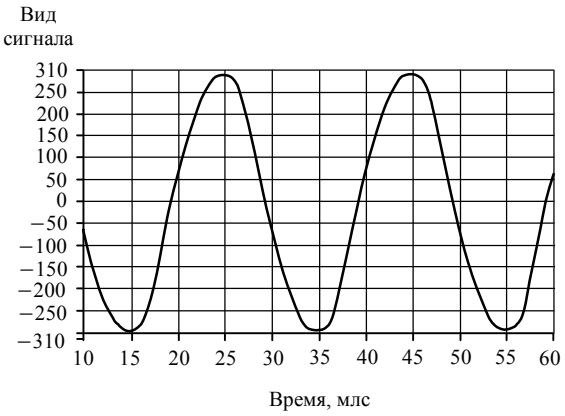


Рис.1. Осциллограмма фазного напряжения

Заметно, что искажения обусловлены в основном 3-й и 5-й гармониками, действующие значения которых относительно действующего значения основной гармоники составляют в среднем 5,5 % и 3,5 % соответственно.

Среднее значение коэффициента гармоник $THDU = 6{,}5\ \%$ превышает допустимое значение $THDU = 5\ \%$. В вечерние часы напряжение имело синусоидальную форму.

Наличие нечетных гармоник в спектре напряжения связано с протеканием в сети несинусоидальных токов, характерных для однофазных выпрямителей, которые являются составной частью блоков питания ПК. Измерения показали, что ток питания ПК имеет импульсный характер (рис.2) с амплитудой $I_m = 1{,}25$ А при действующем значении $I = 0{,}37$ А.

Значению коэффициента амплитуды $K_A = 3{,}4$ соответствует высокое содержание высших гармоник $THDU = 124\ \%$, амплитуды которых медленно убывают с частотой (рис.2).

Спектральный состав тока ПК показал следующее:

Номер гармоники, n	I_n, А	$\bar{I}_n$, %
1	0,23	100
3	0,2	89
5	0,15	53
7	0,1	44
9	0,065	28
11	0,05	21
13	0,045	20
15	0,04	18
17	0,03	13

Аналогичные данные получены в результате компьютерного моделирования сети с нелинейной нагрузкой в среде Simulink системы MATLAB. Установлено, что с увеличением числа нелинейных потребителей коэффициент амплитуды и коэффициент гармоник уменьшаются по сравнению с соответствующими величинами, характеризующими ток отдельного потребителя. Это связано с увеличением длительности импульса тока вследствие неодновременности работы отдельных блоков и влияния искаженной формы напряжения.

Искажение напряжения в точке подключения нагрузки $u_н(t)$ обусловлено падением напряжения $u_d(t)$ в RL-элементах схемы замещения силового трансформатора распределительной сети: $u_i(t) = u_0(t) - \quad - u_d(t)$; $u_d(t) = i(t)R + L\dfrac{di(t)}{dt}$, где L и R– эквивалентные индуктивность и сопротивление; $u_0(t)$ – синусоидальный источник напряжения.

При увеличении числа нелинейных потребителей влияние искажающего напряже-

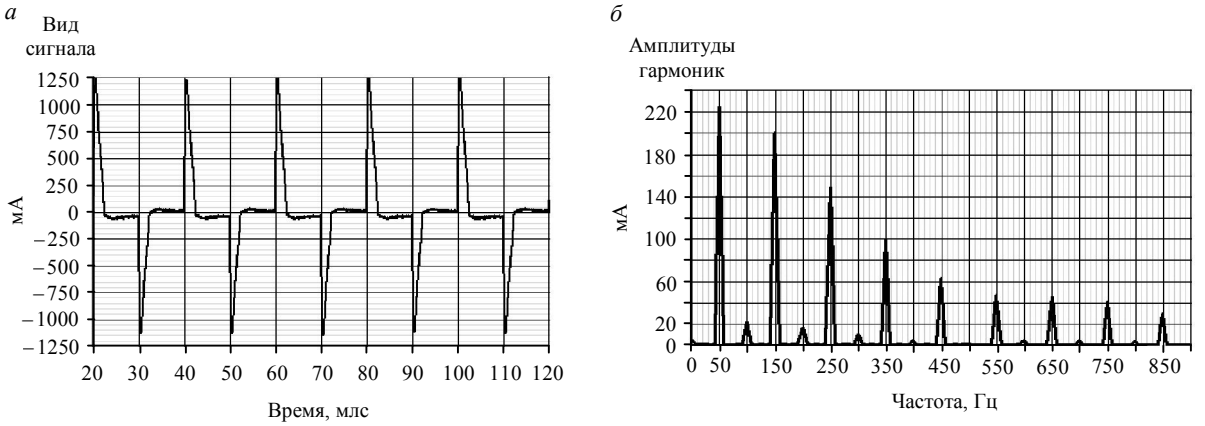


Рис.2. Осциллограмма (*а*) и амплитудный спектр (*б*) тока

ния $u_d(t)$ на форму напряжения в точках подключения нагрузки $u_н(t)$ возрастает. Уровень искажения зависит от соотношения между параметрами R и L.

Наличие высших гармоник в фазных токах вызывает протекание значительных токов в нейтрали. Этот ток может существенно превышать допустимые значения, рассчитанные из условия, что неравномерность распределения линейной нагрузки по фазам не должна превышать 10 %. В связи с этим защита нейтрального проводника от токовых перегрузок не предусмотрена [2].

Положение меняется при несинусоидальных токах. Выделим в трехфазных токах симметричной нелинейной нагрузки гармоники, которые соответствуют токам прямой последовательности $i_+(t)$, образованных суммой гармоник с номерами $k = 1, 7, 13 \ldots$, токам $i_-(t)$ обратной ($k = 5, 11, 17 \ldots$) и токам нулевой $i_0(t)$ последовательности ($k = 3, 9, 15 \ldots$) : $i(t) = i_+(t) + i_-(t) + i_0(t)$.

Ток нейтрали равен сумме фазных токов $i_N(t) = i_A(t) + i_B(t) + i_C(t)$. При симметричной нелинейной нагрузке вклад токов $i_+(t)$ и $i_-(t)$ в ток нейтрали, как и в случае линейной нагрузки, отсутствует. Ток нейтрали определяется только токами нулевой последовательности: $i_N(t) = i_{N-}(t) = 0$, $i_N(t) = 3i_0(t)$.

Так как уровень гармоник, кратных трем, в спектре фазного тока велик, то при высоком значении коэффициента амплитуды $K_A = 3{,}4$ действующее значение тока в нейтрали I_N превышает действующее значение фазного тока I. В соответствии с результатами компьютерного моделирования это превышение составляет $i_N / I = 2$.

При симметричной нелинейной нагрузке в спектре тока нейтрали (рис.3) присутствуют только гармоники, образующие нулевую последовательность с основной частотой 150 Гц.

В результате экспериментальных исследований и компьютерного моделирования трехфазной четырехпроводной сети с однофазной выпрямительной нагрузкой установлено, что несинусоидальные токи нелинейной нагрузки приводят к искажению формы напряжения, уровень которого превышает значение, установленное ГОСТом. Ток нейтрали многократно превышает допустимый уровень, рассчитанный на линейную нагрузку с уровнем неравномерности загрузки фаз 10 %. Постоянный дополнительный нагрев электрооборудования приводит к нарушению номинального теплового режима, старению и снижению срока службы изоляции. Увеличение числа одновременно работающих компьютеров приводит к усилению негативных факторов, связанных с действием высших гармоник. Результаты исследований могут быть распространены на сеть промышленных предприятий с учетом особенности нагрузки.

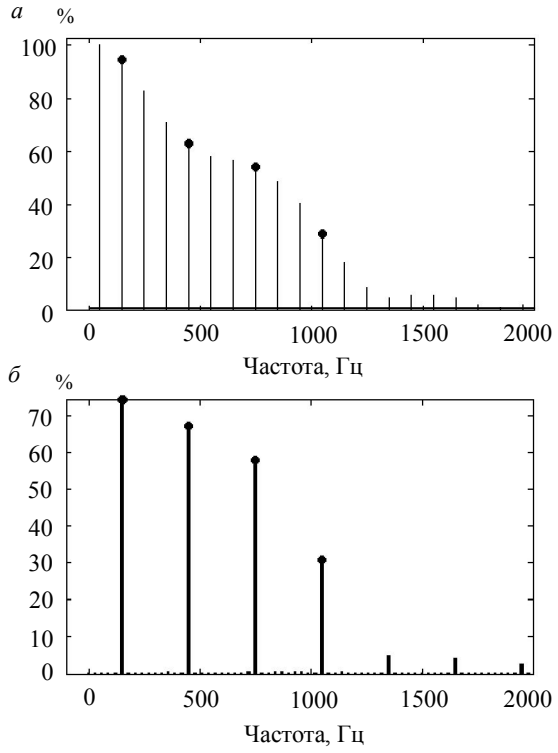


Рис.3. Амплитудные спектры фазного тока (*а*) и тока нейтрали (*б*)

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Госстандарт России. М., 1997.

2. *Григорьев О.В.* Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / О.В.Григорьев, В.К.Петухов // Новости электротехники 6(18) 2002.

3. *F.Magnano*, *S.Lovera.* A DSP based system for power indexes determination under non-sinusoidal condition. Proceedings of EPE-PEMC, Italy, 2002.

Научный руководитель д.т.н. проф. *О.Б.Шонин*