

## О КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТИ С РАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ

В.А. Лаптев, к.т.н., доцент  
А.С. Рябчинский, аспирант

ФГОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия»

**Резюме.** Рассмотрено искажение синусоидальной формы тока и возникновение несимметрии при работе разрядных ламп в трехфазной сети.

**Ключевые слова:** электроэнергия, сеть, разрядная лампа.

**The resume.** We consider the distortion of sinusoidal current and the appearance of asymmetry in the work of the discharge lamps in the three-phase network.

**Keywords:** electric power, network, digit lamp.

Разрядные лампы широко используются для досвечивания в тепличных хозяйствах и для электрической сети представляют собой нелинейную нагрузку. Работа такого оборудования сопровождается появлением несинусоидального тока, что приводит к искажению формы питающего напряжения в сети. Появление высших гармоник в трехфазной сети приводит к появлению симметричных составляющих, характерных для несимметричного режима работы.

Нами проведены экспериментальные исследования трехфазной сети с разрядными лампами ДРЛ-400, с дроссельным пускорегулирующим аппаратом (ПРА), схема которой приведена на рисунке 1.

Измерения проводились с помощью осциллографа АКИП-4107, который по USB-интерфейсу был связан с компьютером.

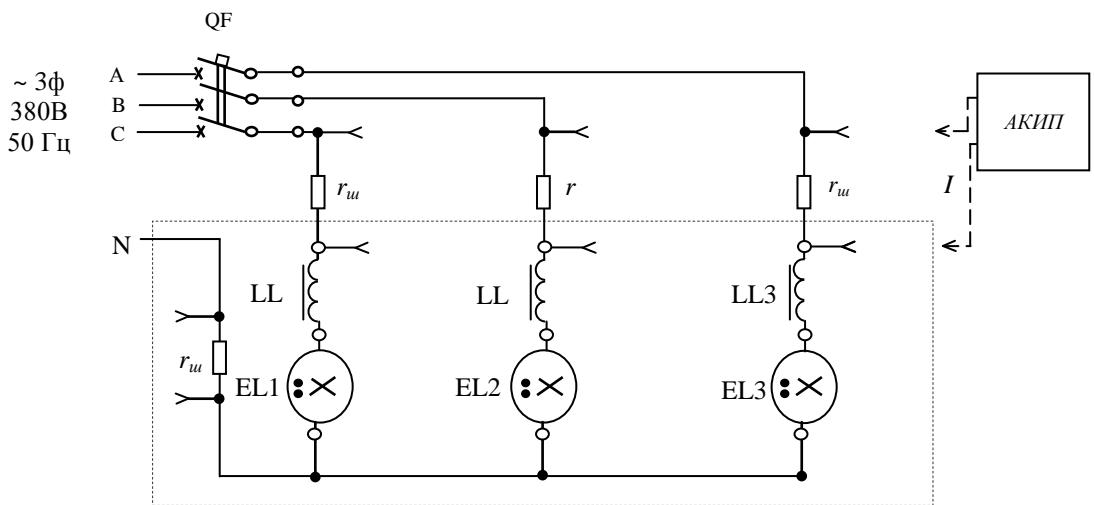


Рис. 1. Схема трехфазной сети с разрядными лампами ДРЛ-400

Исследовалась форма тока в фазных и нулевом проводе, а также коэффициент искажения формы кривой тока  $k_u$  и коэффициент амплитуды тока  $k_a$ . Осциллограмма кривой тока в фазе приведена на рисунке 2.

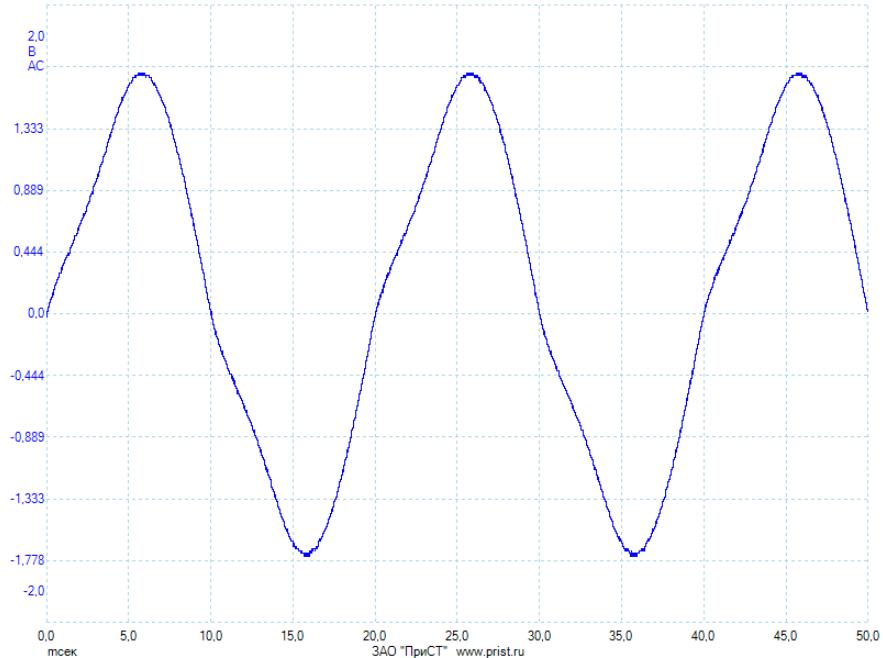


Рис. 2. Форма тока в фазе А

Значение  $k_u$  определялось как отношение действующего значения высших гармонических  $i_3(t)$  к действующему значению основной (первой) гармоники  $i_1(t)$  [1] и  $k_a$  определялось отношением значения потребляемого тока  $i_{(t)}$  к его действующему значению  $I_m$ , которое измерялось амперметром.

Полученные измеренные и расчетные значения токов и коэффициентов  $k_u$  и  $k_a$  сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчётов токов и коэффициентов  $k_u$  и  $k_a$

Фаза	Измеряемый показатель		Расчётный показатель	
	$i_{(t)}, A$	$I_m, A$	$k_u, \%$	$k_a$
A	5,90	4,05	10,5	1,45
B	5,53	3,81	10,8	1,46
C	5,60	3,8	10,7	1,46
Погрешность измерения, $\Delta_k$ , нормативное значение погрешности $\pm 0,20\%$				

Условия соответствия требованиям нормативно – технической документации [1]:

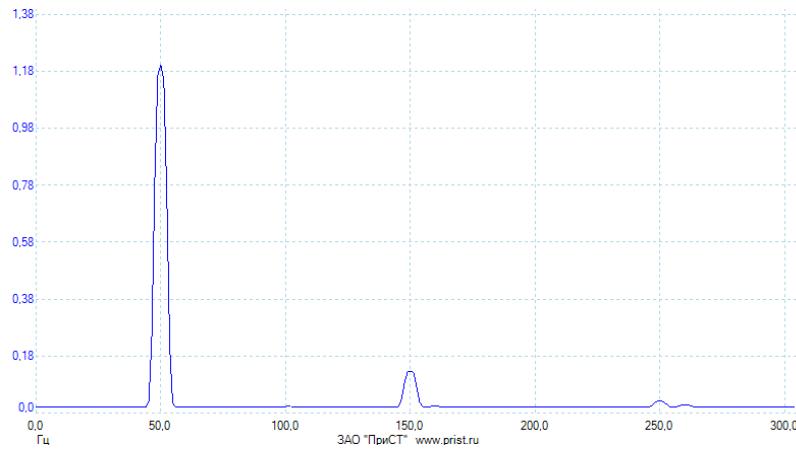
коэффициент искажения синусоидальной кривой напряжения,  $k_u \leq 8\%$

коэффициент амплитуды тока  $k_\phi = 1,41 = \sqrt{2}$

Здесь:  $i_{(t)}$  – значение тока, получаемое из осциллографа по закону Ома;

$I_m$  – значение тока;

Симметрия несинусоидальной кривой тока относительно оси абсцисс, наблюдаемая на осциллографе, приводит к тому, что её разложение в ряд Фурье содержит только нечетные гармоники. Подтверждение этому служит осциллограф на рисунке 3. В [3, 4] показано, что в трёхфазной сети 1, 7, 13, 19 и т.д. гармоники образуют симметричную систему векторов прямой последовательности. Гармоники 5, 11, 17 и т.д. образуют симметричную систему векторов обратной последовательности, а гармоники 3, 9, 15 и т.д. – симметричную систему векторов нулевой последовательности. Действие токов и напряжений нулевой последовательности в трёхфазных цепях, имеют специфическое результирующее действие, обусловленное тем, что нечетные гармоники, кратные трём, суммируются в проводнике нейтрали (рис. 4).



Численные значения гармонических составляющих, полученные для всех фаз, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования гармоник токов в фазах сети

№ гармоники	$I_{mA}, A$	$I_A, A$	$I_{mB}, A$	$I_B, A$	$I_{mC}, A$	$I_C, A$	$I_{mN}, A$	$I_N, A$
	Фаза А		Фаза В		Фаза С		Провод N	
1	5,65	4,00	5,20	3,68	5,09	3,60	0,82	0,58
3	0,59	0,42	0,52	0,37	0,51	0,36	1,62	1,15
5	0,09	0,07	0,08	0,06	0,08	0,06	0,03	0,02

Здесь:

$I_b$  – действующее значение токов,  $A$ ;

$I_{mb}$  – амплитуда значения токов, полученное из осцилограмм спектра гармоник,  $A$  (рисунки 3, 4).

На рис. 4 показана первая гармоника  $i_{1(t)}$  и синусоида напряжения в сети  $U_{c(t)}$  фазах А, В, С. При нагрузке разрядными лампами возникает ток третьей гармоники  $i_{3(t)}$ . Сложение двух кривых  $i_{1(t)}$  и  $i_{3(t)}$ , даёт кривую  $i_{\lambda(t)}$ , которая показывает, что ток в фазах несинусоидален. Сравнивая кривые  $i_{3(t)}$  в 3-х фазах, видим, что токи третьих гармоник совпадают по фазе [2].

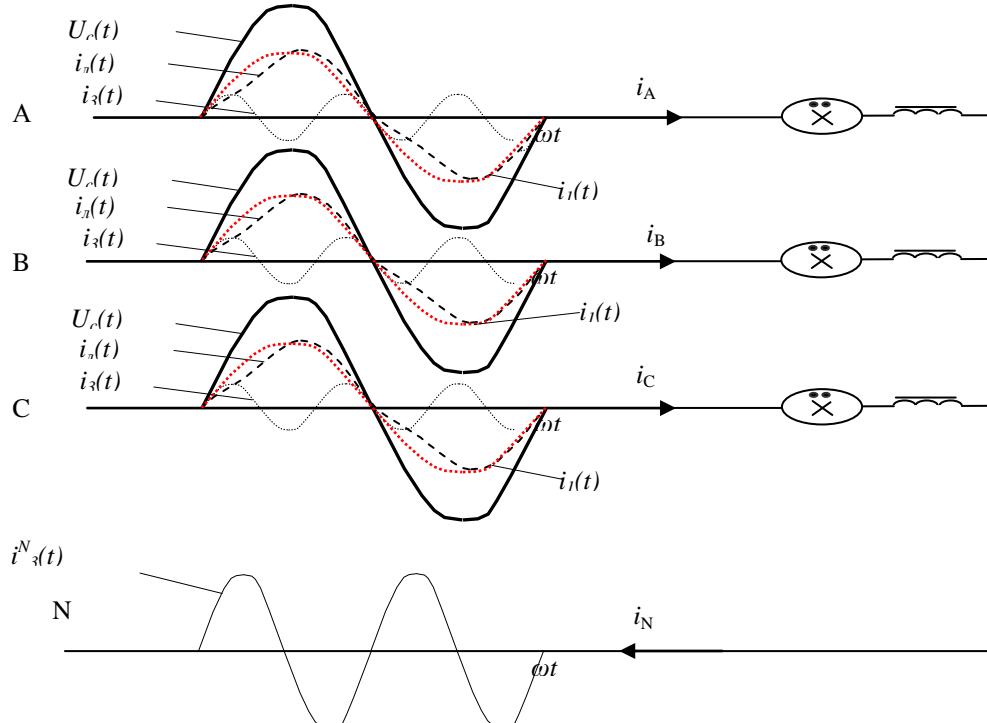


Рис. 4. Формы напряжения и тока. Процесс формирования тока нейтрали четырёхпроводной системы, питающей лампы ДРЛ

Поэтому в нулевом проводе они суммируются, образуя ток  $i_{3(t)}^N$  тройной частоты 150 Гц (рис. 5).

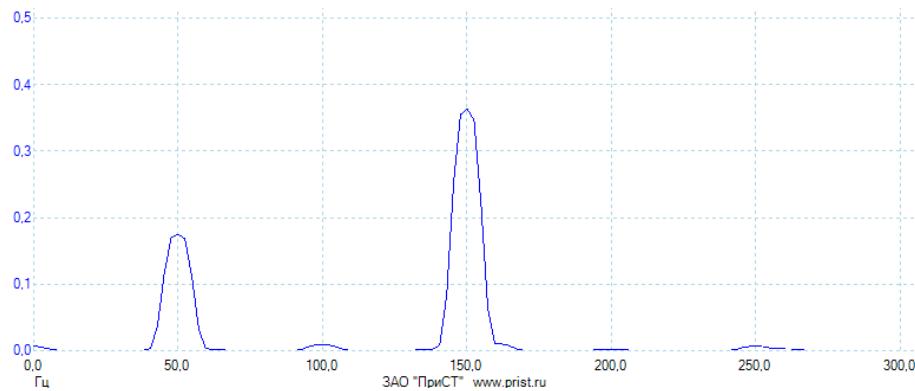


Рис. 5. Спектр гармоник в нулевом проводе

Из анализа полученных экспериментальных данных для исследованной трёхфазной симметричной цепи, с разрядными лампами следует:

- 1) имеют место искажения формы кривой тока в фазах нагрузки;
- 2) коэффициент искажения  $k_b$ , превышает допустимые по ГОСТ значения;
- 3) коэффициент амплитуды  $k_a$ , так же превышает допустимые значения;
- 4) появляется несимметрия, вызванная наличием нечётных гармоник, которые образуют прямую, обратную и нулевую последовательности векторов тока и напряжения в цепи;
- 5) нулевая последовательность приводит к появлению тока в нулевом проводе;
- 6) полученные экспериментальные данные полностью соответствуют результатам, опубликованным в [4].

**Список литературы.** 1. ГОСТ 13109 – 97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: издательство стандартов, 2002. – 33 с.

2. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Часть 1. Светотехника / учебное пособие. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2004. – 344 с.

3. Горбунов А.Н., Кабанов И.Д., Кравцов А.В., Редько И.Я., Теоретические основы электротехники: / М.; 1998. – 491с. с ил.

4. Лаптев В.А., Рябчинский А.С. Качество электроэнергии в сети с газоразрядными лампами // Научно-технический журнал «Вестник МАНЭБ» т. 15 №4, 2010 с. 121-123.