

# ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

А. А. Алферов

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Н. В. Грунтович

Энергетические сети являются связующими звеньями промышленности, однако над их надежностью редко задумываются. Зачастую предприятия знают только одну сторону: либо ток есть, либо его нет. Едва ли кто-нибудь задается вопросом, насколько действительно хорошо качество сети. При ближайшем рассмотрении становится понятно, к каким тяжелым последствиям в работе могут приводить высшие частоты. Что же такое гармоника? Гармоника – это сумма определенного количества частот, которые могут быть добавлены к синусоиде 50 Гц для получения существующей формы тока или напряжения. Соответственно при изменении их амплитуды, фазы и частоты изменяется кривая тока или напряжения как результат синтеза гармоник.

С каждым годом на предприятиях возрастает число электроприемников генерирующих высшие гармоники тока в сеть, к ним относятся: компьютерные сети; статические преобразователи (выпрямители, системы бесперебойного питания, тиристорные регуляторы, импульсные источники питания и т. д.); газоразрядные осветительные устройства и электронные балласты; электродуговые печи постоянного и переменного тока; сварочные аппараты; устройства с насыщающимися электромагнитными элементами; электродвигатели переменного тока с регулируемой скоростью вращения; специальные медицинские приборы и т. д.

В тех случаях, когда мощность нелинейных электропотребителей не превышает 10–15 % каких-либо особенностей в эксплуатации системы электроснабжения, как правило, не возникает. При превышении указанного предела следует ожидать появления различных проблем в эксплуатации, а также последствий, причины которых не являются очевидными. В зданиях, имеющих долю нелинейной нагрузки свыше 25 %, сразу возникают проблемы нарушения нормальной эксплуатации оборудования.

Высшие гармонические составляющие, присутствующие в кабельных линиях нелинейных электропотребителей, приводят к негативным, а иногда и катастрофическим последствиям:

- возможен перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий вследствие их перегрузки токами третьей гармоники;
- гармоники, генерируемые нелинейной нагрузкой, создают дополнительные потери в кабельных линиях;
- ускоренное старение изоляции проводов и кабелей.

Причина негативного влияния высших частот на кабельные линии состоит в том, что при их наличии в сети происходит искажение кривой питающего напряжения, что видно при разложении ее на составляющие (рис. 1).

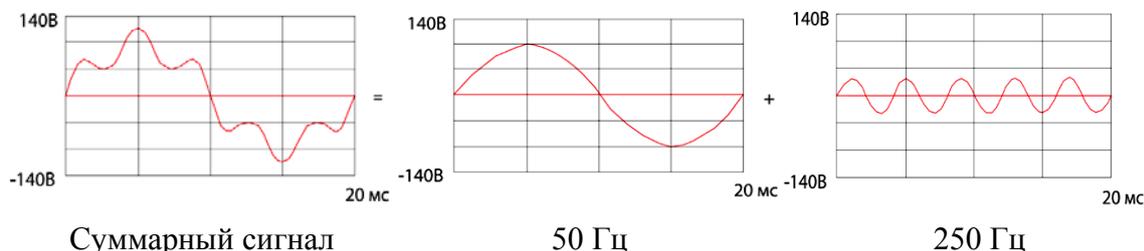


Рис. 1. Разложение питающего напряжения на составляющие

Из анализа рис. 1 следует, что при присутствии в питающем напряжении только фундаментальной гармоники частотой 50 Гц амплитудное значение напряжения было бы значительно ниже.

Высшие гармоники тока, кратные трем (т. е. 3, 9, 15, 21 и т. д.), определяющие высокое значение коэффициента амплитуды и генерируемые однофазными нагрузками, имеют специфическое результирующее воздействие в трехфазных системах.

В сбалансированной (симметричной) трехфазной системе гармонические (синусоидальные) токи во всех трех фазах сдвинуты на 120 градусов по отношению друг к другу, и в результате сумма токов в нейтральном проводнике равна нулю. Следовательно, не возникает и падения напряжения на проводнике нейтрали в кабеле.

Это утверждение остается справедливым для большинства гармоник.

Однако некоторые из них имеют направление вращения вектора тока в ту же сторону, что и основная гармоника (первая, «фундаментальная», 50 Гц), т. е. они имеют прямую последовательность. Другие же вращаются в обратном направлении и, следовательно, имеют обратную последовательность. Это относится к нечетным гармоникам, кратным третьей:

$$n = 3(2k + 1), \text{ где } k = 0, 1, 2, \dots, n.$$

В трехфазных цепях они сдвинуты на 360 градусов друг к другу, совпадают по фазе и образуют нулевую последовательность. Нечетные гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали (рис. 2).

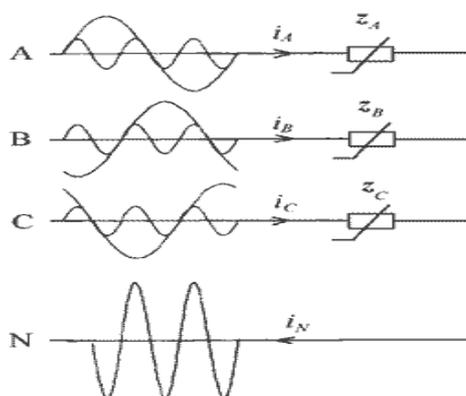


Рис. 2. Графическая интерпретация накопления нечетных гармоник, кратных трем в нулевом проводнике

Потери электроэнергии при наличии в сети высших гармоник связаны с тем, что при увеличении частоты омическое сопротивление кабельной линии возрастает (рис. 3), что приводит к увеличению потерь в проводнике, а сопротивление изоляции наоборот снижается, следовательно, увеличиваются токи утечки.

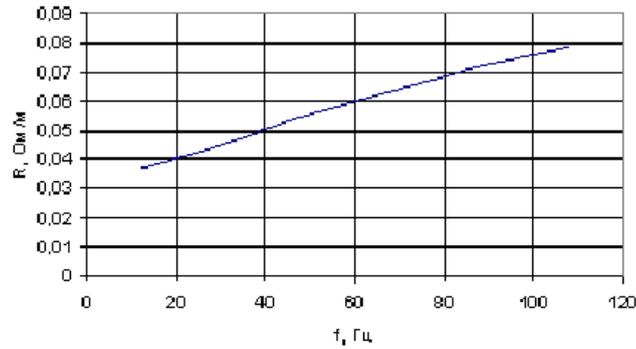


Рис. 3. Зависимость омического сопротивления от частоты

В рамках проводимого энергетического аудита на ОАО «Красносельскстройматериалы» были проведены замеры коэффициентов несинусоидальности кабеля, питающего электродвигатель второй печи обжига и по снятым данным установлено, что коэффициенты 12, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 30, 32, 33, 34, 36, 38, 39 и 40 гармонических составляющих напряжения значительно превышают допустимые значения (рис. 4).

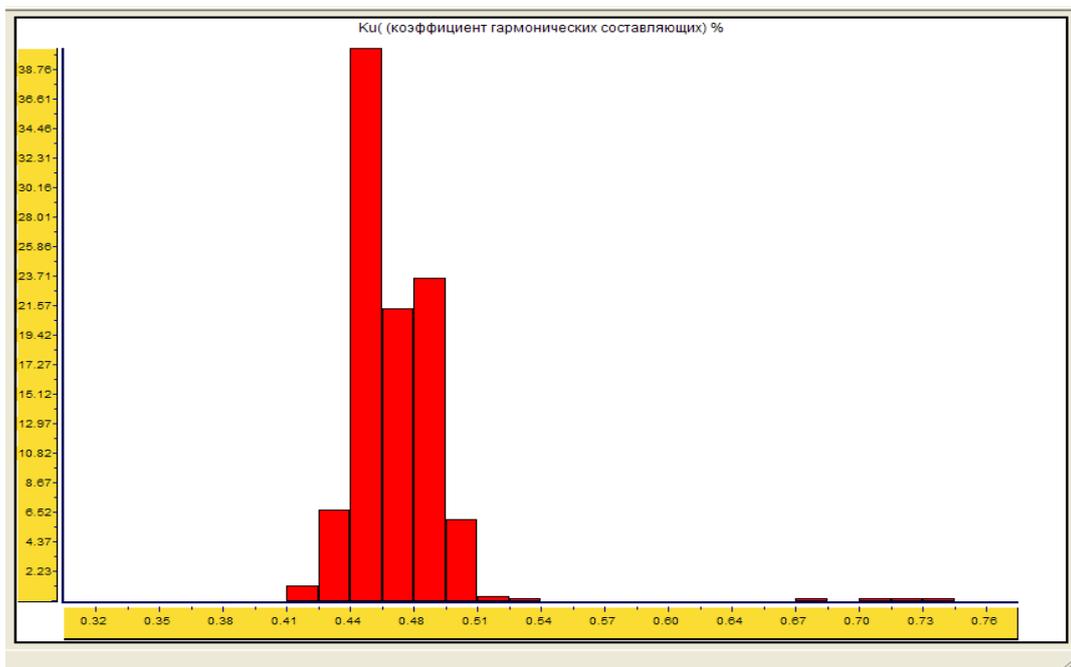


Рис. 4. Гистограмма коэффициента 33 гармонической составляющей напряжения фазы С на шинах 0,4 кВ кабеля, питающего электродвигатель второй печи

## 504 Секция X. Энергоэффективность и диагностика энергооборудования

По данным измерений коэффициент несинусоидальности изменяется в пределах от 0,41–0,75, следовательно, в 2–4 раза превышает нормируемое значение, приведенное в таблице.

### Нормы коэффициентов несинусоидальности

Нечетные гармоники, не кратные 3, при $U_{ном}$ , кВт					Нечетные гармоники, кратные 3**, при $U_{ном}$ , кВт					Четные гармоники при $U_{ном}$ , кВт				
$n^*$	0,38	6–20	35	110–330	$n^*$	0,38	6–20	35	110–330	$n^*$	0,38	6–20	35	110–330
5	6,0	4,0	3,0	1,5	3	5,0	3,0	3,0	1,5	2	2,0	1,5	1,0	0,5
7	5,0	3,0	2,5	1,0	9	1,5	1,0	1,0	0,4	4	1,0	0,7	0,5	0,3
11	3,5	2,0	2,0	1,0	15	0,3	0,3	0,3	0,2	6	0,5	0,3	0,3	0,2
13	3,0	2,0	1,5	0,7	21	0,2	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,3	0,3	0,2
17	2,0	1,5	1,0	0,5	>21	0,2	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,3	0,3	0,2
19	1,5	1,0	1,0	0,4						12	0,2	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,0	1,0	0,4						>12	0,2	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1,0	1,0	0,4										
>25	0,2+ +1,3× ×25/n	0,2+ +0,8× ×25/n	0,2+ +0,6× ×25/n	0,2+ +0,2× ×25/n										

\*  $n$  – номер гармонической составляющей напряжения.

\*\* Нормально допустимые значения, приведенные для  $n$ , равных 3 и 9, относятся к однофазным электрическим сетям. В трехфазных трехпроводных электрических сетях эти значения принимают вдвое меньшими приведенных в таблице.

Таким образом, наличие высших гармоник в электрических сетях предприятий приводит к перегреву кабельных линий, увеличению потерь в них и к значительному сокращению срока службы изоляции.