

# **ВЛИЯНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**С. Л. Прусаков**

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

Научные руководители: Т. В. Алферова, А. А. Алферов

Несинусоидальность напряжения и тока обуславливает дополнительные потери и нагрев, а также ускоренное старение изоляции электрооборудования и, кроме того, отрицательно сказывается на функционировании различных видов электрооборудования. Электромагнитная составляющая ущерба, обусловленная дополнительными потерями, как правило, невелика. Специфическое воздействие на различные виды электрооборудования, системы релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи проявляется дифференцированно и зависит от амплитудного спектра напряжения (тока), параметров электрических сетей и других факторов. Таким образом, в общем случае отсутствует зависимость между энергией гармонической помехи и степенью воздействия ее на электрическую сеть. Это обстоятельство, по-видимому, обусловило широкое применение показателя, характеризующего искажение кривой напряжения сети, называемого коэффициентом несинусоидальности напряжения и определяемого отношением действующего значения напряжения высших гармоник к номинальному, или (чаще) первой гармонике напряжения. По этой же причине в различных странах существуют часто значительно отличающиеся друг от друга стандарты (нормы, указания, положения и т. п.), в которых, однако, просматривается тенденция в той или иной мере ограничить несинусоидальность в узлах подключе-

ния источников высших гармоник и проникновение их в сети других напряжений. При этом количественные характеристики допустимых значений высших гармоник или мощностей источников определяются главным образом на основании экспертных оценок, с учетом особенностей электрических сетей, линейных и нелинейных нагрузок, преобладающих в данной стране. Строгое обоснование этих характеристик не представляется возможным в силу значительного влияния фактора неопределенности: амперно-частотных характеристик (АЧХ) сопротивлений узлов нагрузок и электрических систем, изменяющихся значений нелинейных нагрузок и др. [1].

Нормы на показатели качества электроэнергии устанавливаются действующим ГОСТ [2]. Он устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения).

Нормы КЭЭ, установленные стандартом, являются уровнями электромагнитной совместимости для электромагнитных помех в системах электроснабжения общего назначения. При соблюдении установленных норм КЭЭ обеспечивается электромагнитная совместимость электрических сетей организаций и электрических сетей потребителей электрической энергии. По показателям, регламентируемым данным стандартом, электрическая энергия подлежит обязательной сертификации.

Стандартом устанавливаются следующие показатели качества электроэнергии (ПКЭЭ): установившееся отклонение напряжения; размах изменения напряжения; доза фликера; коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения; коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения; коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности; коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности; отклонение частоты; длительность провала напряжения; импульсное напряжение; коэффициент временного перенапряжения.

ГОСТ устанавливает два вида норм качества электроэнергии: нормально допустимые и предельно допустимые. Оценка соответствия показателей КЭЭ указанным нормам проводится в течение расчетного периода, равного 24 ч.

ГОСТ нормирует интересующие нас показатели:

– значения отклонения напряжения, нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  на выводах приемников электрической энергии равны соответственно  $\pm 5$  и  $\pm 10$  % от номинального напряжения электрической сети;

– коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $KUi$  (табл. 1) и коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $KU(n)i$  (табл. 2).

Таблица 1

### Значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, %

Нормально допустимое значение $KUi$ при $U_{ном}$ , кВ				Предельно допустимое значение $KUi$ при $U_{ном}$ , кВ			
0,38	6–20	35	110–330	0,38	6–20	35	110–330
8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

Значения коэффициента  $n$ -й гармонической составляющей напряжения, %

Нечетные гармоники, не кратные 3, при $U_{ном}$ , кВ					Нечетные гармоники, кратные 3**, при $U_{ном}$ , кВ					Четные гармоники при $U_{ном}$ , кВ				
$n^*$	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	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечания:  $n^*$  – 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 табл. 2.

Предельно допустимое значение коэффициента  $n$ -й гармонической составляющей напряжения вычисляют по формуле

$$KU(n) = 1,5 KU(n)_{норм},$$

где  $KU(n)_{норм}$  – нормально допустимое значение коэффициента  $n$ -й гармонической составляющей напряжения, определяемое по табл. 2.

Всякое ухудшение качества электроэнергии влечет за собой ее перерасход. Такое положение справедливо и для тех случаев, когда это ухудшение лежит в пределах нормы и соответствует ГОСТ [2]. При перерасчете, связанных с проектированием и эксплуатацией СЭС, не учитывают потери, возникающие в устройствах, применяемых для поддержания напряжения на допустимом уровне.

Проблема несинусоидальности – проблема высших гармоник возникла в последнее время в связи с применением мощных электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой, таких, как электросварка, дуговые сталеплавильные печи, неуправляемые и, особенно, управляемые вентильные преобразователи. В настоящее время проблема высших гармоник является одной из важных частей общей проблемы электромагнитной совместимости приемников электроэнергии с питающей электрической сетью.

Несинусоидальный ток в сопротивлениях питающей сети создает несинусоидальные падения напряжения так, что даже при синусоидальной ЭДС источника энергии в сети с выпрямительной нагрузкой имеют место несинусоидальные токи и напряжения. Таким образом, нагрузка потребляет из питающей сети искаженный ток, в состав которого входят гармоники, с частотами, превышающими основную частоту. Падения напряжения, обусловленные этими токами, вызывают искажение кривой напряжения питания, что ведет к дополнительным потерям передаваемой мощности, может нарушить работу других приемников, создает опасность возник-

новения резонанса и перегрузку цепей, содержащих емкости. Поэтому выпрямительную нагрузку можно рассматривать как генератор высших гармонических напряжений.

Высшие гармоники оказывают отрицательное влияние на технологический процесс и режим работы электролизеров. Наличие пульсирующего напряжения с большим содержанием высших гармоник способствует увеличению обратимых восстановительных процессов в электролите, влияет на подвижность ионов, перенос заряда и, следовательно, приводит к снижению коэффициента полезного действия электролизных установок, ухудшению качества продукции.

При прохождении токов высших гармоник по элементам системы электроснабжения возникают дополнительные потери активной мощности и электроэнергии. Наибольшие дополнительные потери активной мощности имеют место в трансформаторах, двигателях и генераторах. В ряде случаев эти потери могут привести к недопустимому перегреву обмоток электрических машин и во всех случаях приводят к дополнительным потерям электрической энергии.

При наличии гармоник в кривой напряжения процесс старения изоляции протекает более интенсивно, что объясняется ускорением при высоких частотах электрического поля физико-химических процессов в диэлектриках, обуславливающих их старение.

Высшие гармоники тока и напряжения влияют на погрешности электроизмерительных приборов. В практике эксплуатации существенное значение имеет увеличение погрешностей индукционных счетчиков активной и реактивной энергии. Значения этих погрешностей существенно отражаются при учете потребления электрической энергии.

Наличие высших гармоник затрудняет и в ряде случаев делает невозможным использование силовых цепей в качестве каналов для передачи информации. Высшие гармоники ухудшают работу телемеханических устройств, вызывают сбои в их работе, если силовые цепи используются в качестве каналов связи.

Ограничение несинусоидальности напряжения с наибольшей эффективностью может быть достигнуто на стадии проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий, но требует дополнительных затрат. Поэтому такое ограничение является технико-экономической проблемой, которую нельзя решать в отрыве от задачи компенсации реактивной мощности [3].

Таким образом, поддержание у всех электроустановок оптимальных качественных показателей электрической энергии обеспечит минимальное потребление электрической энергии данными электроустановками.

#### Л и т е р а т у р а

1. Степанов, В. М. Влияние высших гармоник в системах электроснабжения предприятия на потери электрической энергии / В. М. Степанов, И. М. Базыль // Изв. Тул. гос. ун-та. – 2013. – № 2 (12). – С. 27–31.
2. ГОСТ 13109–97. Межгосударственный стандарт: электрическая энергия, совместимость технических средств электромагнитная, нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.