

## Лекция № 14. Несинусоидальность формы кривой токов и напряжений

*Несинусоидальность напряжения* – искажение синусоидальной формы кривой напряжения (см. рисунок 1). Несинусоидальность напряжения характеризуется значением коэффициента искажения кривой, %, и коэффициентом  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения, % .

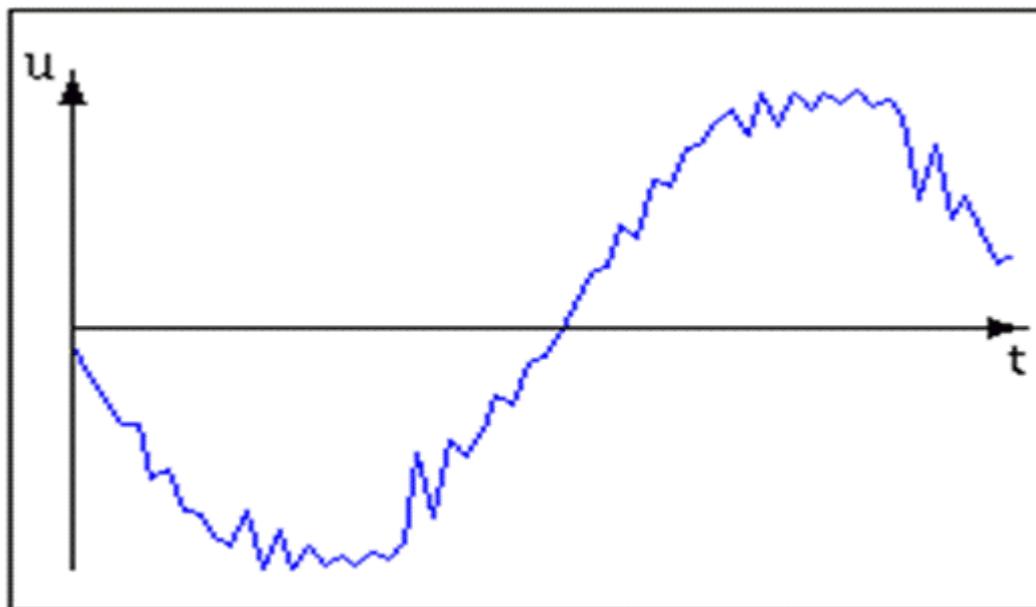


Рисунок 1 – Несинусоидальность напряжения

Причина возникновения несинусоидальности напряжения – это силовое оборудование с тиристорным управлением, люминесцентные лампы, сварочные установки, преобразователи частоты, импульсные преобразователи напряжения.

Источниками искажений являются синхронные генераторы электростанций, силовые трансформаторы, работающие при повышенных значениях магнитной индукции в сердечнике (при повышенном напряжении на их выводах), преобразовательные устройства переменного тока в постоянный и ЭП с нелинейными вольт - амперными характеристиками (или нелинейные нагрузки).

Искажения, создаваемые синхронными генераторами и силовыми трансформаторами, малы и не оказывают существенного влияния на систему электроснабжения и на работу ЭП. Главной причиной искажений являются вентильные преобразователи, электродуговые сталеплавильные и руднотермические печи, установки дуговой и контактной сварки, преобразователи частоты, индукционные печи, ряд электронных технических средств (телевизионные приемники, ПЭВМ), газоразрядные лампы и др. Электронные приемники электроэнергии и газоразрядные лампы создают при своей работе невысокий уровень гармонических искажений на выходе, но общее количество таких ЭП велико.

Несинусоидальность повлияет на рост потерь в электрических машинах, вибрации; нарушение работы автоматики защиты; увеличение погрешностей измерительной аппаратуры; отключение чувствительных ЭПУ.

ЭП с нелинейной вольтамперной характеристикой потребляют ток, форма кривой которого отличается от синусоидальной. А протекание такого тока по элементам электросети создаёт на них падение напряжения, отличное от синусоидального, это и является причиной искажения синусоидальной формы кривой напряжения.

Например, полупроводниковые преобразователи потребляют ток трапецевидной формы, образно говоря - выхватывают из синусоиды кусочки прямоугольной формы.

35% электроэнергии преобразуется и потребляется на постоянном напряжении.

Источниками несинусоидальности напряжения являются статические преобразователи, дуговые сталеплавильные и индукционные печи, трансформаторы, СД, сварочные установки, газоразрядные осветительные приборы, офисная и бытовая техника и так далее.

Строго говоря, все потребители имеют нелинейную вольтамперную характеристику, кроме ламп накаливания, да и те запрещены.

Несинусоидальность напряжения характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициентом  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения.

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  определяется по выражению, %:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \cdot 100\%,$$

где  $U_{(n)}$  – действующее значение  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения, В;

$n$  – порядок гармонической составляющей напряжения;

$N$  – порядок последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения, стандартом устанавливается  $N=40$ ;

$U_{(1)}$  – действующее значение напряжения основной частоты, В.

Допускается  $K_U$  определять по выражению, %:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{ном}} \cdot 100\%,$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение сети, В.

Коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения равен, %:

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100\%.$$

Допускается  $K_{U(n)}$  вычислять по выражению, %:

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(ном)}} \cdot 100\%.$$

Для вычисления необходимо определить уровень напряжения отдельных гармоник, генерируемых нелинейной нагрузкой.

Фазное напряжение гармоники в расчетной точке сети находят из выражения:

$$U_{(n)} = \frac{I_{(n)} n U_{КП} U_{ном}}{S_k},$$

где  $I_{(n)}$  – действующее значение фазного тока  $n$ -ой гармоники;

$U_{КП}$  – напряжение нелинейной нагрузки (если расчетная точка совпадает с точкой присоединения нелинейной нагрузки, то  $U_{КП} = U_{ном}$ );

$U_{ном}$  – номинальное напряжение сети;

$S_k$  – мощность короткого замыкания в точке присоединения нелинейной нагрузки.

Для расчета  $U_{(n)}$  необходимо предварительно определить ток соответствующей гармоники, который зависит не только от электрических параметров, но и от вида нелинейной нагрузки.

Нормально допустимые и предельно допустимые значения  $K_U$  в точке общего присоединения к электрическим сетям с разным номинальным напряжением приведены в таблице 5.1.

Таблица 1 – Значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения

Нормально допустимые значения при $U_{ном}$ , кВ				Предельно допустимые значения 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

Влияние несинусоидальности напряжения на работу электрооборудования:

- фронты несинусоидального напряжения воздействуют на изоляцию КЛ электропередач, - учащаются однофазные короткие замыкания на землю. Аналогично кабелю пробиваются конденсаторы;

- в электрических машинах, включая трансформаторы, возрастают суммарные потери. Так, при коэффициенте искажения синусоидальной формы кривой напряжения  $K_U = 10\%$  – суммарные потери в сетях предприятий, крупных промышленных центров, сетях электрифицированного железнодорожного транспорта могут достигать 10-15%;

- возрастает недоучёт ЭЭ, вследствие тормозящего воздействия на индукционные счётчики гармоник обратной последовательности;

- неправильно срабатывают устройства управления и защиты;

- выходят из строя компьютеры.

Функцию, описывающую несинусоидальную кривую напряжения, можно разложить в ряд Фурье синусоидальных (гармонических) составляющих, с частотой в  $n$ -раз превышающих частоту сети электроснабжения - частоту первой гармоники ( $f_{n=1}=50\text{Гц}$ ,  $f_{n=2}=100\text{Гц}$ ,  $f_{n=3}=150\text{Гц}$ ).

В связи с различными особенностями генерации, распространения по сетям и влияния на работу оборудования, различают чётные и нечётные гармонические составляющие, а также составляющие прямой последовательности (1, 4, 7 и т.д.), обратной последовательности (2, 5, 8 и т.д.) и нулевой последовательности (гармоники кратные трём).

С повышением частоты (номера гармонической составляющей) амплитуда гармоники снижается.

ГОСТ 13109-97 требует оценивать весь ряд гармонических составляющих от 2-й до 40-й включительно.

Мероприятия по снижению несинусоидальности напряжения:

- аналогично мероприятиям по снижению колебаний напряжения;

- применение оборудования с улучшенными характеристиками;

- ненасыщающиеся трансформаторы;

- преобразователи с высокой пульсностью;

- подключение к мощной системе электроснабжения;

- питание нелинейной нагрузки от отдельных трансформаторов или секций шин;

- снижение сопротивления питающего участка сети;

- применение фильтрокомпенсирующих устройств (см. рисунок 2).

L-C цепочка, включенная в сеть, образует колебательный контур, реактивное сопротивление которого для токов определённой частоты равно нулю. Подбором величин L и C фильтр настраивается на частоту гармоники тока и замыкает её, не пропуская в сеть. Набор таких контуров, специально настроенных на генерируемые данной нелинейной нагрузкой высшие гармоники тока, и образует фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ), которое не пропускает в сеть гармоники тока и компенсирует протекание реактивной мощности по сети.

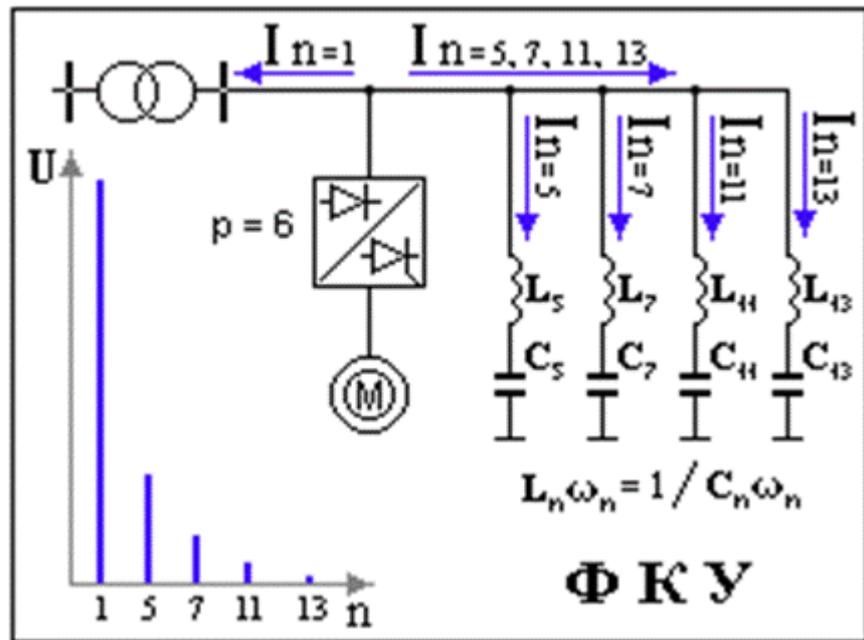


Рисунок 2 – Применение фильтрокомпенсирующих устройств