

Коржова А.В., Иванов А.С.

Научный руководитель: к.т.н., проф.

Виноградов А.А.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова,*

НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ И СПОСОБЫ ЕЕ СНИЖЕНИЯ

В процессе выработки, преобразования, распределения и потребления электроэнергии имеют место искажения формы синусоидальных токов и напряжений. 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 из-за большого количества таких ЭП совместное их влияние в вышерасположенных узлах электрической сети достаточно велико [1, с. 13].

Влияние несинусоидальности напряжения на работу ЭП

ЭП с нелинейными вольт-амперными характеристиками потребляют из сети несинусоидальные токи при подведении к их зажимам синусоидального напряжения. Токи высших гармоник, проходя по элементам сети, создают падения напряжения в сопротивлениях этих элементов и, накладываясь на основную синусоиду напряжения, приводят к искажениям формы кривой напряжения в узлах электрической сети. В связи с этим ЭП с нелинейной вольт-амперной характеристикой часто называют источниками высших гармоник.

Высшие гармоники тока и напряжения вызывают дополнительные потери активной мощности во всех элементах системы электроснабжения: в линиях электропередачи, трансформаторах, электрических машинах,

статических конденсаторах, так как сопротивления этих элементов зависят от частоты. Так, например, емкостное сопротивление конденсаторов, устанавливаемых в целях компенсации реактивной мощности, с повышением частоты подводимого напряжения уменьшается. Поэтому, если в напряжении питающей сети есть высшие гармоники, то сопротивление конденсаторов на этих гармониках оказывается значительно ниже, чем на частоте 50 Гц. Из-за этого в конденсаторах, предназначенных для компенсации реактивной мощности, даже небольшие напряжения высших гармоник могут вызвать значительные токи гармоник. На предприятиях с большим удельным весом нелинейных нагрузок батареи конденсаторов работают плохо. Они или отключаются защитой от перегрузки по току или за короткий срок выходят из строя из-за вспучивания банок (или ускоренного старения изоляции).

Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения, являются [2, с. 7]:

- значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка $K_{U(n)}$ в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии;
- значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_U , % в точке передачи электрической энергии.

Высшие гармоники вызывают паразитные поля и электромагнитные моменты в синхронных и асинхронных двигателях, которые ухудшают механические характеристики и КПД машины. В результате необратимых физико-химических процессов, протекающих под воздействием полей высших гармоник, а также повышенного нагрева токоведущих частей наблюдается [1, с. 40]:

- ускоренное старение изоляции электрических машин, трансформаторов, кабелей;
- ухудшение коэффициента мощности ЭП;
- ухудшение или нарушение работы устройств автоматики, телемеханики, компьютерной техники и других устройств с элементами электроники;
- погрешности измерений индукционных счетчиков электроэнергии, которые приводят к неполному учету потребляемой электроэнергии;
- нарушение работы вентильных преобразователей при высоком уровне высших гармонических составляющих и др.

Наличие высших гармоник неблагоприятно сказывается на работе не только электрооборудования потребителей, но и на работе устройств релейной защиты и автоматики в энергосистемах. Так, например, сбои в каналах передачи информации по силовым цепям при наличии гармоник приводят к подаче неправильных команд на управление коммутационной аппаратурой.

Способы и средства снижения несинусоидальности напряжения

1. Схемные решения:

- подключение нелинейной нагрузки к системе с большей мощностью $S_{кз}$;
- выделение нелинейных нагрузок на отдельные секции шин;
- группирование вентильных преобразователей по схеме умножения фаз;
- применение оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник: ненасыщающихся трансформаторов и многофазных вентильных преобразователей.

Увеличение числа фаз выпрямления. С увеличением числа фаз выпрямления уменьшается искажение синусоидальной формы кривой напряжения. Так, например, при 6-фазной схеме выпрямления в токе вентильного агрегата содержатся 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25... гармоники, а при 12-фазной схеме - 11, 13, 23, 25... гармоники. Расчеты показывают, что при этом несинусоидальность напряжения сети уменьшается в 1,4 раза. Увеличение числа фаз выпрямления является действенной мерой снижения содержания высших гармоник в кривых первичного тока преобразователей и напряжения сети. Однако эти устройства получаются слишком сложными, дорогими и ненадежными. В настоящее время наибольшее распространение получил 12-фазный режим выпрямления.

Многофазный эквивалентный режим работы преобразователей.

Увеличение числа фаз выпрямления возможно также путем создания эквивалентного режима для группы вентильных агрегатов, при сохранении для каждого из них 6-фазного выпрямления. Например, 12-фазный эквивалентный режим для двухмостового преобразователя может быть реализован путём соединения одной из обмоток анодного трансформатора в треугольник, а другой - в звезду. В результате в первичных обмотках трансформаторов обоих агрегатов присутствуют гармоники порядков $n = 6k \pm 1$, но в питающую сеть выходят только гармоники порядков $n = 12k \pm 1$, а остальные гармоники тока циркулируют между первичными обмотками трансформаторов.

2. Технические решения:

- использование пассивных фильтров;

Для снижения несинусоидальности напряжения применяют фильтры высших гармоник (рис. 1).

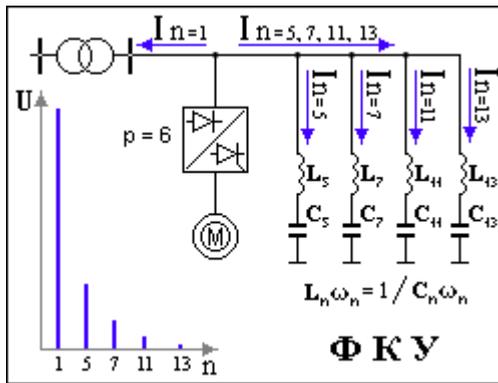


Рис. 1. – Фильтрация высших гармоник тока

С увеличением частоты индуктивное сопротивление фильтра увеличивается пропорционально номеру гармоники, а сопротивление батареи конденсаторов уменьшается обратно пропорционально номеру гармоники. На частоте одной из гармоник индуктивное сопротивление индуктивности звена фильтра становится равным емкостному сопротивлению батареи конденсаторов и в цепи звена фильтра возникает резонанс напряжений. При этом сопротивление звена Z току этой гармоники становится равным нулю и оно шунтирует электрическую систему на частоте данной гармоники.

- применение активных кондиционеров гармоник.

Активный кондиционер гармоник (ActiveHarmonicConditioner-АНС)[3] подключается параллельно нелинейной нагрузке (рис. 2).

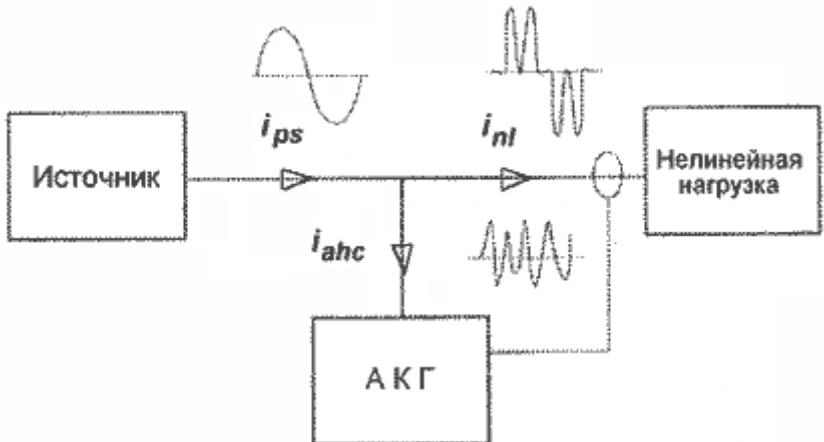


Рис. 2. – Схема включения активного кондиционера гармоник (АКГ)

Принцип действия активного кондиционера гармоник (АКГ) основан на анализе гармоник тока нелинейной нагрузки и генерировании в распределительную сеть таких же гармоник тока, но с противоположной фазой. Как результат этого, высшие гармонические составляющие тока нейтрализуются в точке подключения АКГ. Это означает, что они не распространяются от нелинейной нагрузки в сеть и не искажают напряжения первичного источника энергии. АКГ может быть установлен в любой точке распределительной сети и способен компенсировать высшие гармоники от одной или нескольких нелинейных нагрузок.

Библиографический список

1. Суднова В. В., Качество электрической энергии. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2000. – 80 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Климов В. П., Москалев А. Д. Способы подавления гармоник в системах электропитания // Практическая силовая электроника. 2003. № 6.