

Скворцова Ксения Петровна,
Магистр ЗабГУ, г. Чита
K.P. Skvortsova, ZabGU, Chita

Гаврилова Кристина Сергеевна,
Магистр ЗабГУ, г. Чита
K.S. Gavrilova, ZabGU, Chita

ВЛИЯНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ БЫТОВЫХ СЕТЕЙ

Аннотация: Данная статья посвящена вопросу влияния гармонических составляющих на режимы бытовых сетей. В работе описаны основные проблемы, возникающие в ходе работы бытовых сетей из-за несинусоидальности питающего напряжения, а также приведена конструкция стенда для исследования влияния гармонических составляющих. Дополнительно описаны результаты влияния гармонических составляющих на режимы работы бытовых сетей.

Ключевые слова: Бытовая сеть, гармонические составляющие, режим работы, напряжение, искажение напряжения.

В современном мире все чаще можно наблюдать изменения в характере электрических нагрузок, вызванные широким распространением статических силовых преобразователей, частотно-регулируемых электроприводов и энергосберегающих систем освещения. Системы электроснабжения на промышленных предприятиях, а также у физических и юридических лиц, потребляющих электроэнергию (офисы, жилые дома) все чаще подвергаются значительным искажениям синусоидальной формы токов. Особенность искажающих нагрузок заключается в том, что они зачастую являются однофазными.

В связи с наблюдающимся в настоящее время широким внедрением во всех отраслях хозяйства автоматизированных электроприводов, созданных на основе силовых полупроводниковых преобразователей постоянного и переменного тока, возрастает объем генерации ими в питающую сеть неактивных составляющих мощности. Это, в свою очередь, приводит к дополнительным потерям электроэнергии в распределительных электрических сетях.

Гармоники – это синусоидальные волны, суммирующиеся с основной частотой 50 Гц (т.е. 1-я гармоника = 50 Гц, 5-я гармоника = 250 Гц). ГОСТ на качество электроэнергии регламентирует высшие гармоники с помощью коэффициента пульсаций гармоник. Высшие гармоники увеличивают потери в энергетических сетях, снижая коэффициент полезного действия оборудования, вызывая паразитные тормозные моменты в двигателях, потери в магнитопроводах трансформаторов, дополнительный нагрев и выход из строя конденсаторов, предохранителей, электродвигателей, люминесцентных ламп, ложные срабатывания автоматических выключателей и предохранителей. Наличие третьей гармоники и ее производных 9, 12 в нейтрали может потребовать увеличения сечения ее проводника. Гармонический шум (частые переходы через ноль), может служить причиной неправильной работой компонентов систем контроля. Также наличие высших гармоник в сети ведет к повреждению чувствительного электронного оборудования.

Согласно ГОСТ, допустимые значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения для сетей 0,4 кВ составляют 8%, а предельно допустимые 12%. Наибольшее искажение в синусоидальный сигнал вносят гармоники 3, 5, 7 порядка.

Параметр, указывающий на уровень влияния нелинейных искажений, или по-другому степень отличия формы сигнала от синусоидальной, называется коэффициентом нелинейных искажений K_u .



$$Ku = \frac{\sqrt{U^2(2)+U^2(3)...+U^2(40)}}{U(1)} \quad (1)$$

U (1) – действующее значение напряжения 1-ой гармоники

U (2), U (3) ... U (40) – действующие значения напряжения высших гармоник.

Следовательно, можно определить общую долю суммарного напряжения высших гармоник по отношению к напряжению основной частоты.

Способы уменьшения гармонических составляющих

На основании полученных данных можно принимать решения о внедрении средств, направленных на уменьшение гармонических составляющих.

К основным способам уменьшения гармоник относятся разделение линейных и нелинейных нагрузок, обеспечение симметричного режима работы трехфазной системы, снижение полного сопротивления распределительной сети за счет увеличения сечения кабелей, применение линейных дросселей и изолирующих трансформаторов с обмотками «треугольник»/ «звезда», использование пассивных и активных фильтров.

Одним из наиболее простых способов снижения уровня высших гармоник является установка линейных дросселей переменного тока. В частности, такой способ фильтрации широко применяется для подавления помех, возникающих при работе частотных преобразователей.

МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Включение линейных дросселей.

Простейшим способом снижения уровня генерируемых нелинейными нагрузками высших гармоник тока во внешнюю сеть является последовательное включение линейных дросселей. Такой дроссель имеет малое значение индуктивного сопротивления на основной частоте 50 Гц и значительные величины сопротивлений для высших гармоник, что приводит к их ослаблению. При этом снижается коэффициент амплитуды (крест-фактор) K_a и коэффициент искажения K_i входного тока.

Применение пассивных фильтров.

Применение последовательно включенных линейных дросселей в ряде случаев не позволяет уменьшить гармонические искажения тока до желаемых пределов. В этом случае целесообразно применение пассивных LC-фильтров, настроенных на определенный порядок гармоник. Для улучшения гармонического состава потребляемого тока такие фильтры нашли широкое применение в системах с источниками бесперебойного питания (ИБП / UPS). Подключение фильтра на входе шестиполупериодного выпрямителя при 100% нагрузке UPS обеспечивает снижение коэффициента искажения тока до величины 8-10%. Значения этого коэффициента в системе без фильтра может достигать 30% и более. На рис. 2г приведена реализация трехфазного LC-фильтра, применяемого как опциональное устройство в 3-х фазных UPS.

Различают следующие разновидности пассивных фильтров:

- некомпенсированный LC-фильтр;
- скомпенсированный LC-фильтр;
- некомпенсированный LC-фильтр с коммутатором

Применение специальных разделительных трансформаторов.

Разделительный трансформатор с обмотками "треугольник-звезда" позволяет эффективно бороться с гармониками, кратными третьей, при сбалансированной нагрузке. Для ослабления влияния несимметрии нагрузки и уменьшения тока нейтрали применяют "перекрестную" (зигзагообразную) систему обмоток, где вторичная обмотка каждой фазы разбита на две части и размещена на разных стержнях магнитопровода трансформатора.

При несинусоидальных токах возрастают потери в трансформаторах главным образом за счет потерь на вихревые токи, что требует увеличение их установочной мощности или



применения специальных К-фактор трансформаторов. К-фактор трансформаторы отличаются от стандартных тем, что имеют дополнительную теплоемкость, позволяющая выдержать нагревание, вызванное высшими гармониками тока. Кроме того, специальная конструкция такого трансформатора позволяют свести к минимуму потери на вихревые токи и потери из-за паразитной емкости.

К-фактор представляет собой коэффициент, характеризующий вклад высших гармоник в процесс нагрева трансформатора. Если К-фактор равен единице, то это означает, что нагрузка линейная и в цепи протекает синусоидальный ток. Значения К-фактора выше единицы указывают на дополнительные тепловые потери при нелинейных нагрузках, которые трансформатор способен безопасно рассеять.

Конструирование стенда для изучения влияния гармонических составляющих на бытовые сети

Для успешного проведения экспериментов, будут учтены факторы, которые могут помешать прийти к результатам исследования.

В условия проведения эксперимента входит следующее:

- Поддержание температуры внешней окружающей среды на одинаковом уровне в протяжении всего времени проведения каждого опыта
- Регулирование нагрузки на электродвигатель, ориентировочно каждую пятую минуту опыта. С проверкой мощности по трем установленным датчикам.
- Контроль температуры нагрева токопроводящих элементов и оборудования экспериментального стенда во избежание обрыва, коротких замыканий и в обеспечении точности проводимых опытов.

Стенд сконструирован так, чтобы можно было подключить любую нагрузку и исследовать её. В виде нагрузок подключались лампочки и обогреватели, а также двигатель.

Перед запуском экспериментального стенда в состояние для проведения исследований происходил запуск только с подачей гармонической составляющей на электросеть стенда, позже включалось питание на всю управляющую часть для проверки коммутационного оборудования и раннего обнаружения возможных нарушений плотности контакта проводки с оборудованием и клеммами.

Перед началом проведения опытов записывались изначальные данные по температуре.

При помощи тепловизора после полного включения стенда каждые 3 минуты фиксировалась температура нагрева электродвигателя и имитированной воздушной линии до выхода линия и двигателя в установившийся режим. При изменении температуры менее чем на градус, температура фиксировалась каждые 5 минут.

При достижении стабильной температуры происходило отключение подачи гармонической составляющей на экспериментальный стенд. Из экспериментов наблюдалось, что двигатель в сравнении с линией на 10-15 минут быстрее достигал уровня установившегося режима. Перед моментом отключения температура фиксировалась независимо от промежутка времени. После отключения подачи гармонической составляющей температура фиксировалась каждую минуту до момента незначительных изменений, после чего фиксация проходила также каждые 3 минуты.

Количество опытов составляет не менее двух повторных по каждой точке и не менее пяти по подаче каждой подаваемой гармонической составляющей с разными амплитудами.

Таким образом при подаче гармоники 3-го порядка требуется проведение минимум 10 опытов.

Повторение опытов по одной и той же точке обосновано проверкой полученных данных и нахождением возможных изъянов в работе экспериментального стенда.



Датчиками «KWS-AC301» и мультиметрами фиксировались показания силы тока и напряжения подаваемой гармоникой. Также фиксировались показания тока, напряжения и нагрузки до имитированной воздушной линии и после неё. Температура на имитации воздушной линии фиксировалась при помощи тепловизора. Температура электродвигателя фиксировалась при помощи трех датчиков встроенных в разные обмотки статора, выводящие свои данные на плату с экраном.

Материальное обеспечение и перечень оборудования

Перечень оборудования стенда:

1. Асинхронный двигатель – 1 шт.;
2. Синхронный двигатель – 1 шт.;
3. Магнитные пускатели – 2 шт.;
4. Счетчик «KWS-AC301» – 6 шт.;
5. Датчики температуры – 3 шт.;
6. Тепловизор – 1 шт.;
7. Собранная плата с экраном – 1 шт.;
8. Обогреватель – 2 шт.;
9. Осциллограф – 1 шт.;
10. Собранный генератор гармоник – 1 шт.;
11. ЛАТР – 2 шт.;
12. Автоматический выключатель однополюсный – 5 шт.;
13. Автоматический выключатель трехполюсный – 3 шт.;
14. Удлинитель тройной – 2 шт.;
15. Пылесос – 1 шт.;
16. Система водяного охлаждения – 1 шт.;
17. Конденсаторы – 5 шт.;
18. Муфта соединительная для вала ротора;
19. Трансформатор;
20. Собранная имитация воздушной линии.

Ниже приведены фотографии сконструированного стенда.

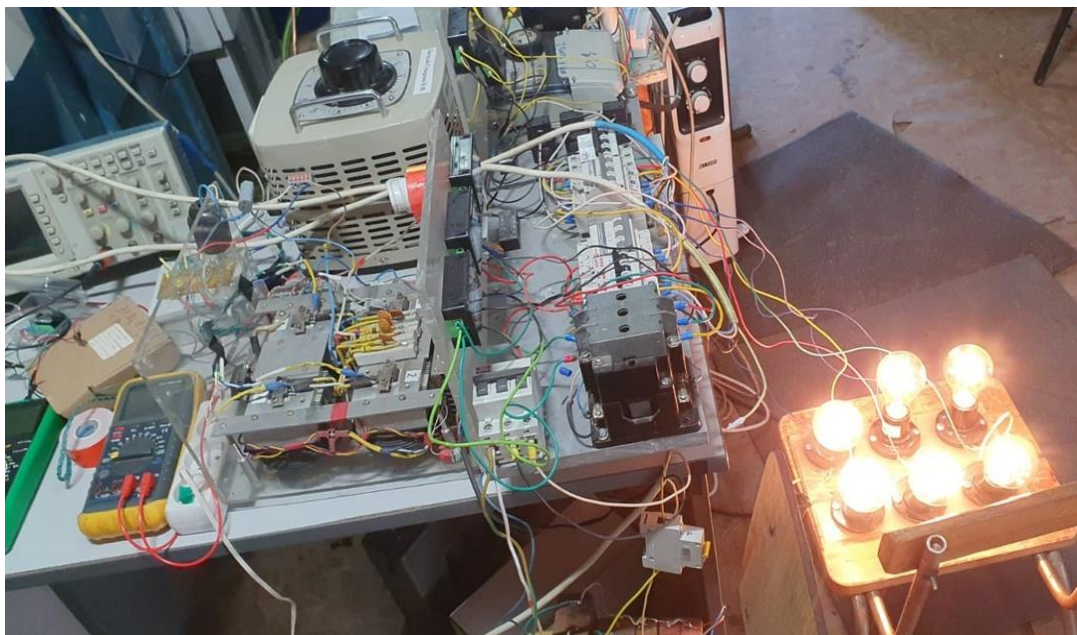


Рисунок 1. Экспериментальный стенд.



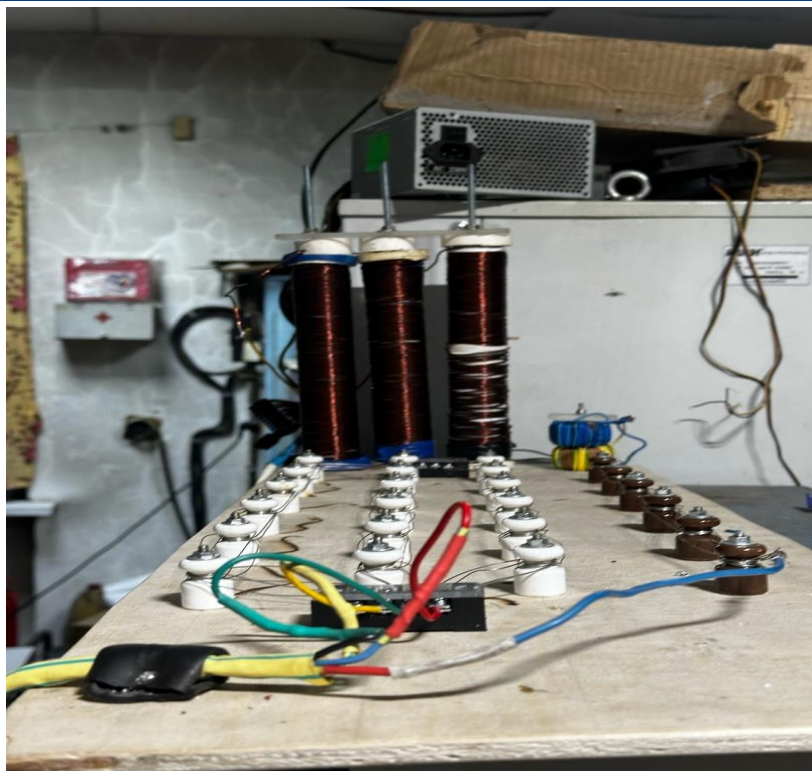


Рисунок 2. Имитация воздушной линии.

ВЫВОД

Несинусоидальность напряжения отрицательно сказывается на рабочих и технико-экономических характеристиках электрических сетей, вызывая дополнительный нагрев, приводящие к увеличению потерь электроэнергии и сокращению срока службы изоляции.

Искажение напряжения под действием гармоник отрицательно сказывается на рабочих и технико-экономических характеристиках электрических машин, бытовых и промышленных приборов, приводящие к снижению КПД и сокращению срока службы

Таким образом, проблема высших гармоник напряжений и токов в распределительных сетях является крайне актуальной и требует пристального внимания со стороны научно-исследовательских структур, электротехнических служб и электроизмерительных лабораторий, занимающихся анализом и измерениями показателей качества электрической энергии.

Список литературы:

1. Об энергосбережении и о повышении эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон № 261-ФЗ. – от 23.11.2009.
2. ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»
3. Влияние напряжения на параметры электропотребления при наличии высших гармоник. А.Н. Скамьин, В.С. Добуш, Ю.В. Растворова.
4. Коваленко, Д. В. Негативное воздействие токов высших гармоник на элементы системы электроснабжения / Д. В. Коваленко, Д. И. Плотников, Е. Е. Шакенов, И. О. Кулинич.
5. ГОСТ 30804.4.7-2013. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств.

