

УДК 631.371

**ВЛИЯНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЕЕ СНИЖЕНИЯ**

**Янукович Г.И., к.т.н, профессор; Королевич Н.Г., к.э.н., доцент;
Збродыга В.М., к.т.н., доцент; Косяк М.П., ассистент
БГАТУ, г. Минск**

Причиной искажения синусоидальности кривой напряжения в системах электроснабжения потребителей являются токи высших гармоник, которые протекают по элементам системы и приводят к появлению высших гармоник напряжения. Значения высших гармоник напряжения зависят от величин токов высших гармоник и от частотных характеристик элементов сети. Высшие гармоники напряжения накладываются на синусоиду напряжения основной частоты и приводят к искажению ее формы.

Источниками токов высших гармоник являются элементы электрических сетей с нелинейными характеристиками: полупроводниковые преобразователи частоты, установки однофазной и трехфазной электросварки, вентильные преобразователи, электродуговые печи, электрические машины, силовые трансформаторы, ветроэнергетические установки, газоразрядные лампы, персональные ЭВМ, файл-серверы, мониторы, лазерные принтеры, копировальная техника, факсы, блоки бесперебойного питания (UPS), газоразрядные лампы, кондиционеры, телевизоры, видеоманитофоны, СВЧ-печи и другие устройства на базе полупроводниковых элементов.

Основными формами воздействия высших гармоник на электроприемники и системы электроснабжения являются [1, 2]:

1. Снижение эффективности процессов генерации, передачи и использования электроэнергии.
2. Увеличение токов и напряжений гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов.
3. Старение изоляции электрооборудования и сокращение вследствие этого срока его службы.
4. Ложная работа оборудования.

Наличие высших гармоник в напряжении питания асинхронных электродвигателей является причиной возникновения высших гармоник тока и составляющих высших гармоник в магнитном потоке, которые будут наводить гармоники ЭДС и, как следствие этого, в обмотках ротора появляются высшие гармоники тока. Эти гармоники будут взаимодействовать с основным магнитным потоком, создавая дополнительные механические моменты на валу электрической машины. В результате создаются гармонические пульсации вращающего момента на валу двигателя, которые вызывают повышенные нагрузки и износ подшипников. Высшие гармоники вызывают перегрев асинхронных электродвигателей, обусловленный дополнительными потерями вследствие эффекта увеличения активного сопротивления обмоток с ростом частоты тока и повышением потерь на гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе. Все эти дополнительные потери приводят к повышению общей температуры машины и к местным перегревам, наиболее вероятным в роторе. Это вызывает снижение срока службы изоляции машин. Высшие гармоники тока и напряжения ухудшают условия коммутации машин постоянного тока, нарушают равномерность вращения ротора синхронного двигателя.

Высшие гармоники вызывают в трансформаторах дополнительные потери на гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе, а также дополнительные потери в обмотках, обусловленные увеличением активного сопротивления обмотки с ростом частоты тока. Кроме того, высокочастотные гармоники являются причиной появления

вихревых токов в обмотках трансформатора, что также вызывает дополнительные потери мощности. Дополнительные потери вызывают дополнительный нагрев и уменьшение срока службы трансформатора. В трансформаторах, дросселях и других электромагнитных элементах высшие гармоники тока, создавая электродинамические усилия, вызывают дополнительные акустические шумы.

Гармоники тока в линиях электропередач приводят к дополнительным потерям электроэнергии и напряжения, к ухудшению характеристик изоляции кабелей. Дополнительные потери в кабелях, приводящие к повышению температуры проводников и ускоренному старению изоляции, вызываются увеличением действующего значения негармонического тока, увеличением активного сопротивления проводника из-за поверхностного эффекта, увеличением потерь в диэлектрике изоляции кабеля. При значительных составляющих высших гармоник в кабельных сетях чаще возникают однофазные короткие замыкания. При этом снижается эффективность работы дугогасящих аппаратов. Даже при резонансной их настройке однофазные короткие замыкания часто переходят в двухфазные и трёхфазные, вследствие прожигания кабеля, потому что через место повреждения протекают большие токи высших гармоник и повреждение не самоликвидируется. Высшие гармоники приводят к повышению аварийности в кабельных сетях, увеличению числа необходимых ремонтов и увеличению затрат на эксплуатацию.

Высшие гармоники напряжения и тока затрудняют компенсацию реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов, так как могут наблюдаться резонансные явления на частотах высших гармоник, что приводит к выходу из строя конденсаторов. Наличие высших гармоник снижает срок службы конденсаторов. Это связано с дополнительным нагревом изоляции при протекании токов высших гармоник и ускорением под воздействием повышенной частоты физико-химических процессов в диэлектриках, обуславливающих её старение. Из всех видов электрооборудования конденсаторы являются наиболее чувствительными к воздействию высших гармоник.

Высшие гармоники неблагоприятно влияют на работу устройств контроля, автоматики, телемеханики, связи. Наблюдаются сбои в работе и выход из строя компьютерного оборудования. Когда телекоммуникационные или управляющие сети проходят вблизи силовых сетей, по которым протекают токи высших гармоник, в них могут наводиться помехи и искажения информационного сигнала.

Высшие гармоники вызывают ложное срабатывание предохранителей и автоматических выключателей из-за их внутреннего дополнительного нагрева за счет явлений поверхностного эффекта и эффекта близости.

Высшие гармоники напряжения и тока могут вызывать искажения изображения и изменение яркости телевизоров. В светильниках с газоразрядными лампами, укомплектованными балластными устройствами, содержащими конденсаторы, при определённых условиях может возникнуть резонанс, приводящий к выходу ламп из строя.

Для решения задачи снижения уровня высших гармоник требуется знание условий эксплуатации и технических характеристик распределительной системы и нагрузок (гармонического состава токов и напряжений, потребляемой мощности, места их подключения в системе электроснабжения).

Снижение уровня высших гармоник можно обеспечить рациональным построением схемы электрической сети и применением специальных схем нелинейных нагрузок [1, 2]:

- выделением нелинейных нагрузок на отдельную секцию шин, подключенную к одной из обмоток многообмоточного трансформатора или реактора;

- путём рассредоточения нелинейных нагрузок по узлам системы с подключением параллельно этим нагрузкам электродвигателей;

- применением последовательного и параллельного включения многофазных вентильных установок с различными схемами соединения обмоток выпрямительных трансформаторов, чем достигается увеличение числа пульсаций выпрямленного напряжения;

- использованием в сложных преобразовательных устройствах специальных законов управления, обеспечивающих подавление одной или нескольких гармоник сетевого тока на частотах, на которых возможны резонансные явления

Если вышеперечисленные мероприятия не обеспечивают требуемого эффекта, тогда применяются специальные корректирующие устройства [1, 2]:

- линейные дроссели;
- пассивные фильтры высших гармоник;
- разделительные трансформаторы;
- активные фильтры высших гармоник.

Простейшим способом снижения уровня генерируемых нелинейными нагрузками высших гармоник тока в сеть является последовательное включение линейных дросселей, которые имеют малое значение индуктивного сопротивления на основной частоте и значительные величины сопротивлений для высших гармоник, что приводит к их ослаблению.

Применение последовательно включенных линейных дросселей в ряде случаев не обеспечивает желаемого эффекта. Тогда целесообразно применение пассивных резонансных LC-фильтров, настроенных на определенную гармонику. Такие фильтры нашли широкое применение в системах с источниками бесперебойного питания (UPS). Различают следующие разновидности пассивных фильтров: 1) некомпенсированный LC-фильтр; 2) скомпенсированный LC-фильтр; 3) некомпенсированный LC-фильтр с коммутатором. Некомпенсированный фильтр содержит продольную индуктивность и поперечную цепь, состоящую из последовательно включенных индуктивности и емкости, настроенных на определенную гармонику. Скомпенсированный фильтр содержит дополнительную поперечную индуктивность, способствующую тому, что фильтр по отношению к источнику питания сети имеет индуктивный характер. Это снижает емкостную составляющую потребляемого тока, но приводит к снижению коэффициента мощности системы в целом. Некомпенсированный фильтр с коммутатором удобен при мощности нелинейного электроприемника, соизмеримой с мощностью источника питания. К недостаткам силовых резонансных фильтров относится сложность выбора номинальных параметров фильтровой конденсаторной батареи и реактора, которые должны обеспечивать нормы допустимой нагрузки этих элементов в условиях, когда через них протекают не только токи основной частоты, но и токи высших гармоник. Снижение уровней гармоник при помощи резонансных фильтров требует больших затрат, так как для обеспечения эффективности этого мероприятия необходима установка фильтров высших гармоник начиная с самой меньшей канонической гармоники. Неправильное включение фильтров высших гармоник приводит к резонансным явлениям, что влечёт за собой аварии в системах электроснабжения. Выход из строя фильтра низшего порядка приводит к аварии на резонансных фильтрах более высокого порядка.

Современный уровень развития силовых полупроводниковых систем позволяет для снижения уровня высших гармоник использовать активные фильтры, построенные на модулях IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором). Это многофункциональные устройства, которые также позволяют компенсировать реактивную мощность электросетей, восстанавливать симметрию напряжений и токов трехфазной системы. Активные фильтры гармоник подключаются параллельно нагрузке. Принцип их действия основан на анализе гармоник тока нелинейной нагрузки и генерировании

в распределительную сеть таких же гармоник тока, но с противоположной фазой. При этом высшие гармонические составляющие тока нейтрализуются в точке подключения фильтра, не распространяются в сеть и не искажают напряжения первичного источника энергии, который обеспечивает только основную гармонику тока нагрузки. В отличие от резонансных фильтров, активные фильтры подавляют все неосновные составляющие токов сетей в определенном диапазоне частот, в том числе неканонические и низкочастотные составляющие.

Силовые активные фильтры для систем с мощными нелинейными электроприемниками могут быть выполнены многотактными, многоуровневыми, каскадными. Недостатком всех типов активных фильтров является то, что на частотах широтно-импульсной модуляции и выше активный фильтр является генератором гармонических составляющих и для их подавления требуется использование RC-цепи.

В качестве разделительного применяют трансформатор со схемой соединения обмоток «треугольник-звезда», который снижает уровень гармоник, кратных трем, при симметричной нагрузке. Для ослабления влияния несимметрии нагрузки применяют соединение вторичной обмотки по схеме «зигзаг». При несинусоидальных токах возрастают потери в трансформаторах, что требует увеличения их мощности или применения специальных трансформаторов, которые имеют дополнительную теплоемкость, позволяющую выдержать нагрев высшими гармониками тока. Кроме того, специальная конструкция такого трансформатора позволяет свести к минимуму потери на вихревые токи и потери из-за паразитной емкости.

При выборе способов и средств снижения несинусоидальности напряжений в электроустановках сельскохозяйственного назначения необходимо учитывать специфические особенности электропотребления и использования электрооборудования в сельском хозяйстве. Энерговооруженность труда в сельскохозяйственном производстве значительно ниже, чем в промышленности. Структура организации сельскохозяйственного производства, необходимость обработки больших площадей и невысокая плотность населения определяют сравнительно малую плотность электрических нагрузок. Для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей приходится передавать относительно небольшие мощности на большие расстояния. В результате распределительные сети имеют значительную протяженность, что неблагоприятно влияет на показатели качества и надежности электроснабжения. Электропотребление ряда сельскохозяйственных потребителей носит ярко выраженный сезонный характер, имеют место пики и провалы нагрузок. Значительная часть электрооборудования в сельском хозяйстве эксплуатируется в условиях агрессивной внешней среды. Часто электротехнические службы сельскохозяйственных организаций не укомплектованы достаточным количеством квалифицированного персонала, что отрицательно влияет на качество эксплуатации электрооборудования и срок его службы. В таких условиях для повышения качества напряжения считаем наиболее целесообразным применение относительно не дорогостоящих, простых и надежных по конструктивному исполнению устройств, которые не требуют особых условий эксплуатации и не предъявляют слишком высоких требований к квалификации обслуживающего персонала.

Литература

1. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий/ И.В. Жежеленко. – 5-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 2004. - 358 с.
2. Шидловский, А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях/ А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. - Кисв: Навукова думка, 1985. - 267 с.