

Недостатки частотных инверторов.

Синусоидальный фильтр.

Современные регулируемые электроприводы (ASD – adjustable speed drives), известные также под названием „частотные инверторы“ (variable-frequency inverters), все чаще используются на производстве, в машиностроении и робототехнике, в лифтах высотных зданий, промышленных системах кондиционирования воздуха и стиральных машинах.

Несмотря на бесспорные достоинства, регулируемые электроприводы имеют ряд незаметных с первого взгляда недостатков.

Рассмотрим подробнее существующие недостатки, и как использование эффективных по стоимости синусоидальных фильтров увеличивает качество, надежность и производительность регулируемых электроприводов.

Принцип работы регулируемых электроприводов

Повышенные требования к современным приводным системам привели к значительному развитию технологии регулируемых электроприводов. Существующие на сегодняшний день недорогие трехфазные асинхронные двигатели подходят для задач с самыми высокими требованиями. Главное – обеспечить электронное управление напряжением на двигателе. Сначала в промежуточном контуре (шине постоянного тока) привода происходит преобразование синусоидального напряжения питания в постоянный ток. Для генерации выходного напряжения, соответствующего техническим характеристикам двигателя и требуемой величине тока, используется полупроводниковый ключ (биполярный транзистор с изолированным затвором – IGBT).

При малых значениях синусоиды генерируются узкие импульсы, содержащие небольшое количество энергии. Ближе к максимуму синусоиды ширина импульсов увеличивается. После прохождения максимума ширина импульсов снова уменьшается до нуля. Аналогичный процесс наблюдается и при отрицательных значениях синусоиды, меняется только полярность напряжения. Процессор регулирует время, в течение которого напряжение подается на обмотки привода (осуществляет широтно-импульсную модуляцию, то есть – ШИМ), управляя таким образом вращающим полем, крутящим моментом, ускорением и замедлением двигателя. На первом графике показана типичная форма выходного сигнала регулируемого электропривода.

Новые области применения

Современные типы регулируемых электроприводов открывают новые области применения электрических двигателей. Некоторые преимущества регулируемых электроприводов:

- компактная конструкция занимает меньше места;
- пониженный вес упрощает установку, сокращает стоимость транспортировки;
- пониженные потери – не допускается перегрев, нет необходимости в дорогих системах охлаждения;
- оптимальный режим работы двигателя;
- экономия энергии;
- расширенные возможности управления удовлетворяют требованиям сложных задач;
- высокий уровень совместимости – возможность управления по шине данных компьютера;
- доступная, по сравнению с другими решениями, цена.

Имеются также и недостатки, вызванные особенностями характеристики du/dt (скорости изменения выходного сигнала). Возникающие в некоторых случаях проблемы могут помешать успешному применению данной технологии.

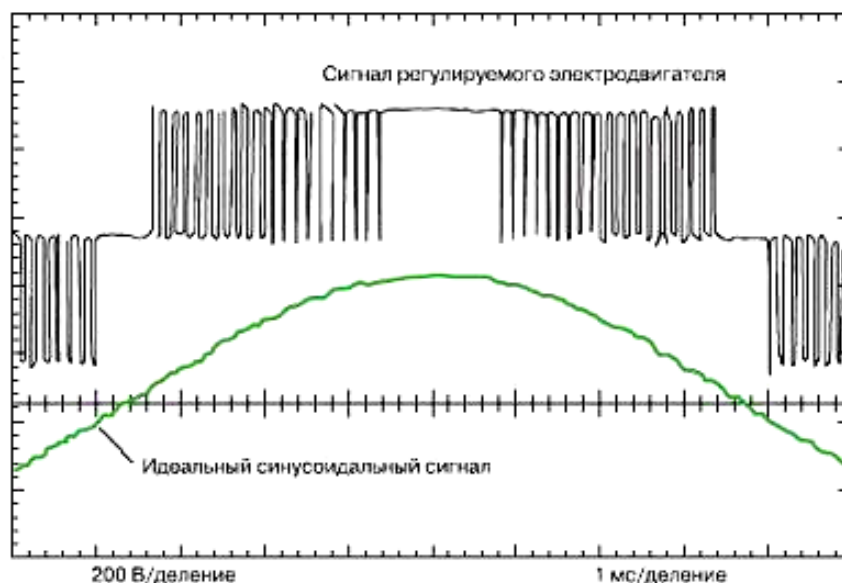
Основные недостатки:

Электромагнитные помехи. В основе данной технологии лежит идея деления управляющего напряжения на отдельные прямоугольные импульсы, которое осуществляется с помощью сверхбыстрых полупроводниковых ключей (IGBT), создающих широкий спектр высокочастотных помех. Происходит излучение помех, а также их распространение по всем контурам. Чтобы ограничить уровень помех в соответствии с нормами IEEE и EN (European Norm), необходима установка дополнительных фильтров.

Резкие скачки напряжения сокращают срок службы двигателей. Современные полупроводниковые ключи, используемые в регулируемых электроприводах, отличаются исключительно высокой скоростью перехода из открытого состояния в закрытое, что проявляется в резких скачках напряжения с уклоном (du/dt) до 10 кВ/мкс.

Это явление приводит к чрезмерным нагрузкам на изолированные медные провода обмоток двигателя и, как следствие, к преждевременному износу изоляционного слоя. *Производители двигателей гарантируют безотказную работу лишь при значениях du/dt менее 1 кВ/мкс.*

Напряжение на выходе регулируемого электропривода



Показано типичное напряжение на выходе регулируемого электродвигателя, содержащее модуляцию с частотой переключения 2-16 кГц.

После установки синусоидального фильтра на выходе электропривода, значение du/dt снижается до приемлемого уровня. Синусоидальные фильтры рекомендуют устанавливать и на старые двигатели без регулируемого электропривода.

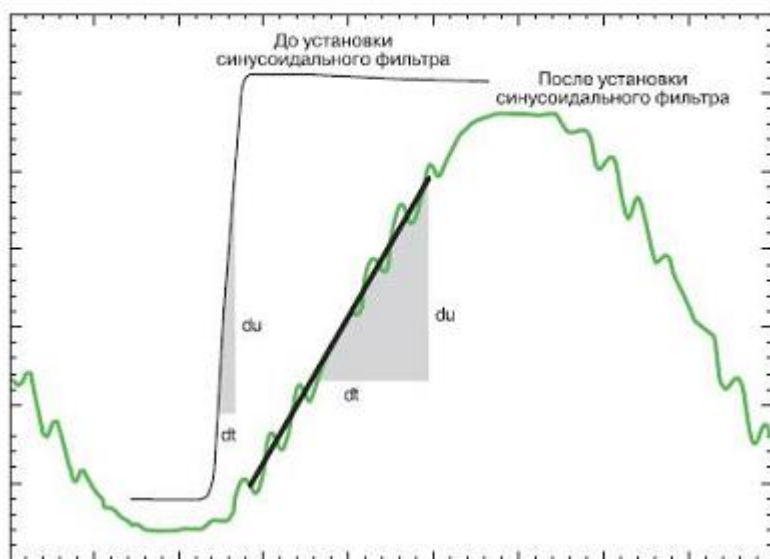
Другим способом ограничения du/dt является добавление в выходной контур низкоиндуктивных параллельных стабилизаторов. Однако в этом случае особенно важно контролировать рост напряжения на клеммах двигателя.

Скачки напряжения, возникающие в результате переотражения волн, могут привести к пробой изоляции на обмотках двигателя. Высокие рабочие частоты и крайне быстрое переключение напряжения накладывают дополнительные требования на длину соединительного кабеля. При подключении двигателя необходимо учитывать особенности распространения высокочастотных волн в проводниках. Характеристики длинного электрического кабеля напрямую зависят от его волнового сопротивления. Импульсы напряжения, генерируемые электроприводом, поступают на клеммы двигателя в виде отраженных волн.

Отражение волн от концов кабеля может привести к двукратному повышению выходного напряжения электропривода. Лаковая изоляция обмоток двигателя не рассчитана на подобные скачки напряжения, поэтому может произойти пробой изоляции.

Синусоидальные фильтры устраняют эффект отражения волн и снижают напряжение на клеммах двигателя до приемлемого уровня, предотвращая повреждение двигателя и аварийную остановку системы.

Напряжение на выходе управляемого электропривода до и после установки синусоидального фильтра



Синусоидальный фильтр улучшает характеристику du/dt управляемого электропривода

Возможно повреждение подшипников.

Асимметрия в конструкции двигателя, особенно между парами полюсов, приводит к появлению потенциала на оси двигателя, даже если напряжение питания – чистый синусоидальный сигнал. Это напряжение вызывает низкочастотный ток через подшипники и заземление. Хотя последние достижения в области точного изготовления практически устранили проблему, после появления новых регулируемых электроприводов с высокочастотными переключателями (IGBT) проблема вновь стала актуальной. Возникающая в результате электроэрозия приводит к быстрому выходу из строя дорожек и подшипников по причине их износа. Для решения этой проблемы специально разрабатываются стабилизаторы подшипниковых токов и синусоидальные фильтры.

Причиной возникновения подшипниковых токов являются высокочастотные синфазные помехи, вызванные высокочастотными импульсами электропривода. Любое изменение уровня помех приводит к возникновению потенциала на оси двигателя.

На статоре возникает небольшой потенциал (примерно 2-10 В в зависимости от размера двигателя), но разряд может пройти только через подшипники. Вероятность появления высокочастотного подшипникового тока и его сила зависят от типа смазки и толщины смазочного слоя. Напряжение в промежуточном контуре и скорость нарастания напряжения при переключении непосредственно влияют на уровень синфазных помех и косвенно влияют на силу подшипниковых токов.

Существует три типа подшипниковых токов: высокочастотные круговые токи в системе ротор-ось-подшипники-статор, вызывающие наибольшее число повреждений подшипников из-за электроэрозии, высокочастотные токи утечки на землю (возникают вследствие плохого заземления статора и могут уходить в соединенный с двигателем механизм через подшипники), и токи емкостных разрядов (случайные пробои диэлектрика, происходящие при возникновении потенциала на оси).

Подшипниковые токи можно уменьшить. Существуют различные методы минимизации подшипниковых токов: подшипники можно изолировать (этот метод не является промышленным стандартом и редко используется), с помощью стабилизаторов тока можно уменьшить уровень шумов и подшипниковых токов в среднем в 5-10 раз, с помощью синусоидальных фильтров можно уменьшить уровень шумов и сгладить характеристику du/dt , что предотвращает износ изоляции из-за частичных разрядов. Оптимальная защита двигателя достигается при одновременном использовании стабилизаторов подшипниковых токов и синусоидальных фильтров, благодаря чему обеспечивается качественное синусоидальное напряжение питания двигателя и значительное уменьшение подшипниковых токов.

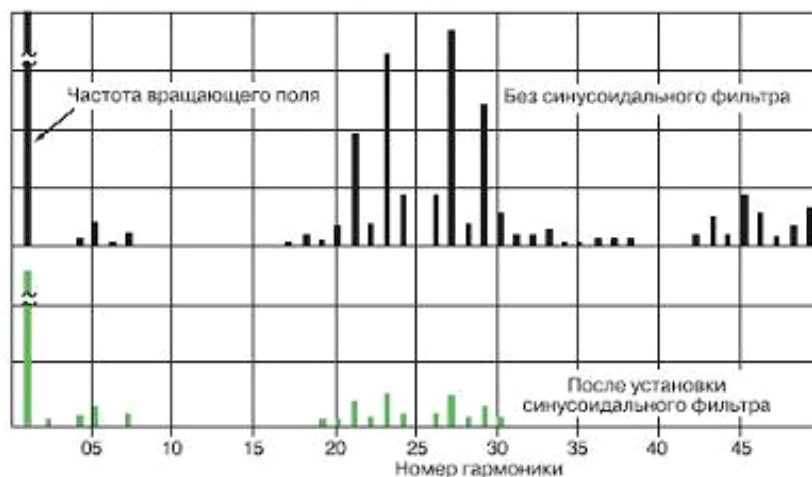
Зависящая от частоты емкость между землей и линиями кабеля пропорциональна длине кабеля. Возникающее емкостное сопротивление весьма незначительно для высокочастотных компонент, что дополнительно затрудняет работу электропривода, увеличивая его реальную нагрузку. В предельном случае вся энергия рассеется в кабеле и двигатель остановится.

Двигатель достаточно сильно шумит. Если напряжение питания двигателя не является синусоидальным, двигатель будет производить больше шума, чем ожидалось. Наличие в рабочем напряжении высокочастотных компонент приводит к магнитострикции пластинчатого сердечника двигателя. Как следствие, возникают неприятные человеческому уху сильные дисгармонические шумы, высокий уровень которых недопустим. Двигатель с установленным синусоидальным фильтром работает при нормальном уровне шума.

Как работает синусоидальный фильтр?

Работа синусоидального фильтра, преобразующего широтно-модулированные импульсы электропривода в синусоидальный сигнал, основана на двух принципах.

Спектр сигнала, генерируемого электроприводом с фильтром и без него



Синусоидальный фильтр снижает амплитуды гармоник основного сигнала ШИМ (3 кГц).

Встроенная катушка индуктивности играет роль реактивного контура, который запасает энергию в магнитном поле и затем преобразует ее в электрическую энергию цепи нагрузки. Зависящий от частоты импеданс (**индуктивность и емкость**) образует фильтр нижних частот первого порядка. Граничная частота подобрана таким образом, чтобы пропускать лишь нужный сигнал при минимальной потере энергии. Типичное падение напряжения составляет 30 В, что не мешает использовать двигатели с высоким крутящим моментом. Высокочастотные компоненты приводят к нелинейным искажениям порядка 5-8%. Существуют усовершенствованные версии, отвечающие повышенным требованиям.

При подготовке статьи использовались материалы:

Удо Леонард Тил – руководитель направления „EMC filters and ferrite components” компании Block TransformatorenElektronik-Filter GmbH & Co.

Майк Гриз – главный менеджер компании Block USA LP