

# Фильтры и дроссели компании Skybergtech

Виталий Хаймин

Елена Бахарь

filtr@sin3.ru

Современная тенденция построения систем электроприводов подразумевает обязательное использование преобразователя частоты вращения электродвигателя (ЭД). Преобразователи частоты (ПЧ) позволяют решить целый ряд проблем, таких как регулирование частоты вращения, управление моментом вращения двигателя, снижение динамических ударов, позиционирование привода, изменение режимов работы под управлением внешнего контроллера. Благодаря ПЧ появилась возможность создания совершенно новых систем приводов, которые были ранее невозможны. Кроме всего прочего, использование ПЧ позволяет значительно повысить надежность работы ЭД, а также поднять КПД всей системы в целом.

Благодаря снижению стоимости электронных комплектующих появилась возможность устанавливать ПЧ практически на любой ЭД. Статистика говорит, что продажи регулируемых электроприводов каждый год растут примерно на 6%. В целом использование ПЧ — это огромный рывок в развитии электроприводов. Но, как это часто бывает, новые решения приносят и новые проблемы. Все современные ПЧ работают по принципу создания коротких прямоугольных импульсов напряжения. Поскольку ЭД — это, в том числе, большая катушка индуктивности, то в момент прерывания импульса возникают высоковольтные броски напряжения. Так, трехфазный двигатель 400 В АС мощностью 1 кВт при прямом подключении к ПЧ создает броски напряжения до 3 кВ. А если двигатель подключен к преобразова-

телю длинным кабелем, то из-за волновых процессов импульс может быть еще больше. Старый ЭД просто будет выведен из строя по причине пробоя изоляции. Кроме всего прочего, прямоугольные импульсы тока создают электромагнитные помехи в широком диапазоне частот. Длинный кабель играет роль антенны, и получается отличный радиопередатчик. Наиболее эффективным путем решения этих проблем является установка фильтров, ограничивающих скорость нарастания напряжения и гасящих ЭМП.

Рассмотрим виды фильтров, устанавливаемых в управляемые электроприводы (рис. 1).

Стандартно система электропривода состоит из модуля выпрямителя, полупроводниковых ключей, системы управления и собственно ЭД. На входе системы крайне желательна установка сетевого помехоподавляющего фильтра. Его назначение — не пропустить ВЧ-помехи как от питающей сети к преобразователю частоты, так и обратно в сеть.

За входным фильтром устанавливается сетевой дроссель. Его основное назначение — защита элементов преобразователя от импульсных всплесков напряжения в сети. Как показано на рис. 2, установка сетевого дросселя резко снижает броски тока, возникающие при открытии диодов выпрямителя, работающего на емкостную нагрузку, а также увеличивает срок службы самого конденсатора. Еще один плюс установки такого дросселя — уменьшение скорости нарастания токов при КЗ в выходных цепях ПЧ.

Также установка сетевого дросселя улучшает коэффициент мощности системы, что дает

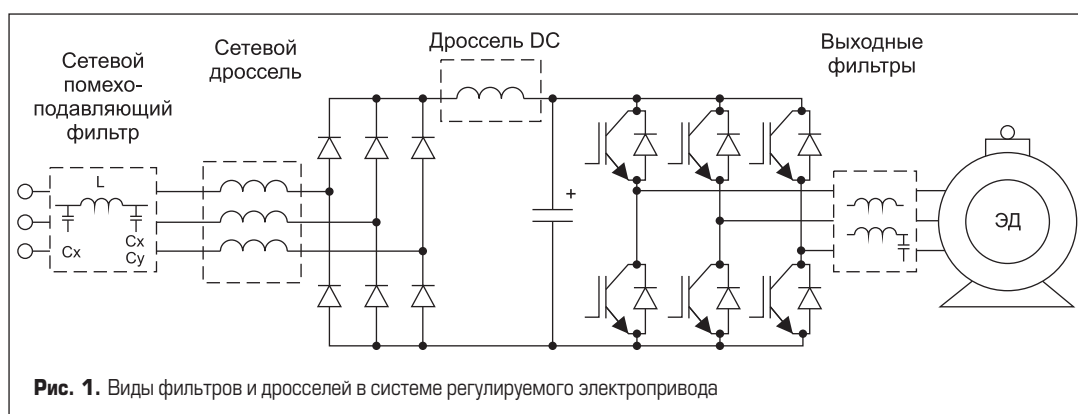


Рис. 1. Виды фильтров и дросселей в системе регулируемого электропривода

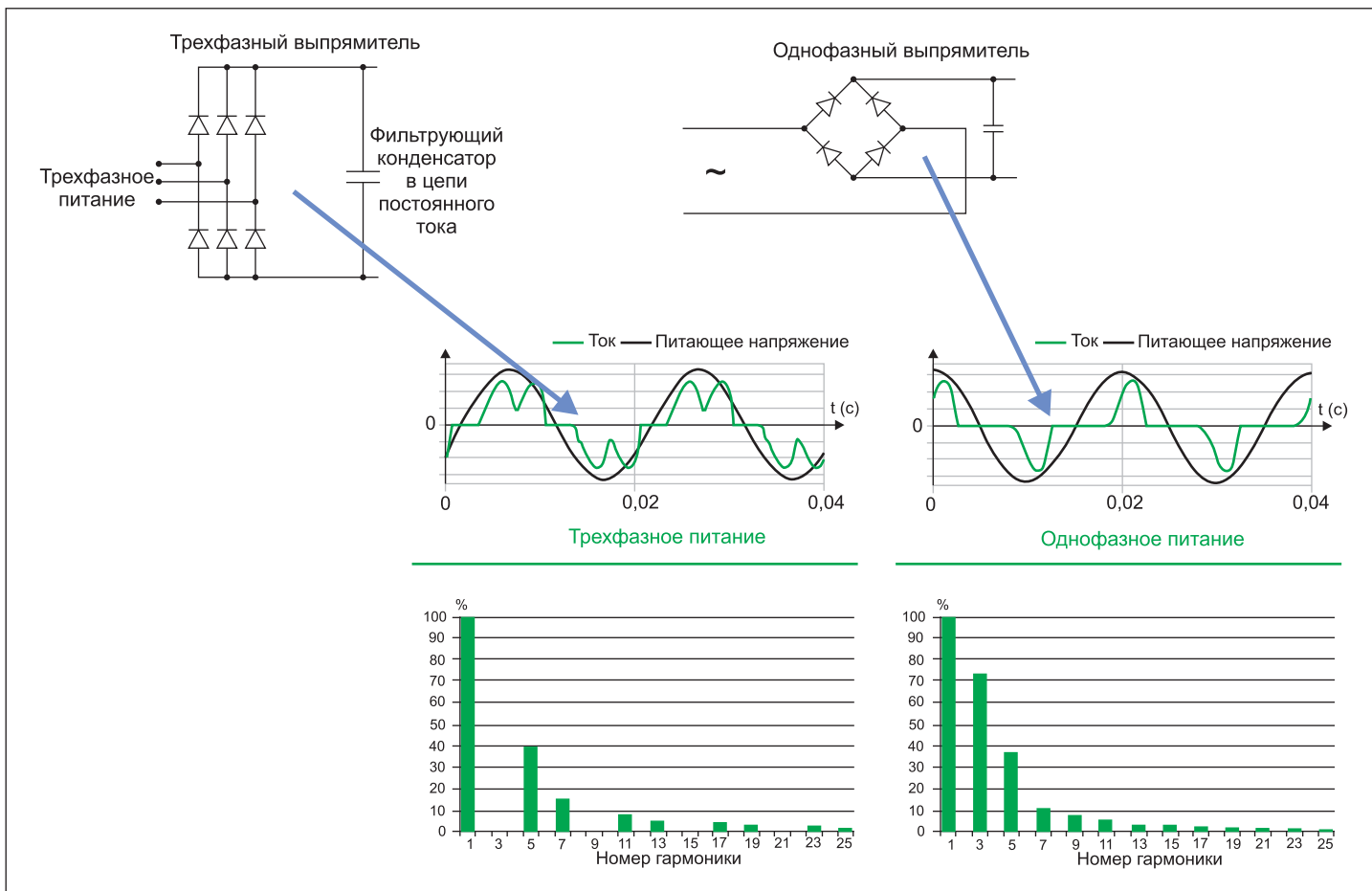


Рис. 2. Броски тока, возникающие при работе диодного выпрямителя (трехфазный выпрямитель создает 5, 7, 11, 13, ... гармоники, однофазный – 3, 5, 7, 9, ...)

экономии энергии и снижение нагрузки на элементы ПЧ. Еще один важный эффект от установки сетевого дросселя — эффект выравнивания перекоса фаз питающего напряжения.

После выпрямителя рекомендуется устанавливать дроссель постоянного тока. Он выполняет ту же роль, что и сетевой дроссель, но не выравнивает перекося фаз. Тем не менее его установка желательна, так как способствует снижению скорости нарастания тока КЗ и увеличивает срок службы остальных элементов ПЧ.

Перейдем к выходным фильтрам ПЧ. Как правило, основная причина установки таких фильтров — это защита ПЧ и двигателя от повреждения высоким импульсным напряжением. На выходе преобразователя частоты скорость нарастания напряжения может достигать до 10 кВ/мкс. Однако изоляция современных ЭД рассчитана на  $dU/dt$  не более 1 кВ/мкс. Крутой фронт импульса способен создать стоячие волны в кабеле, соединяющем электродвигатель и ПЧ. Уже при длине всего 10 м из-за эффекта стоячей волны напряжение на ЭД может вырасти в несколько раз. Дополнительно следует отметить генерацию помех, подшипникового тока и повышенного акустического шума, а также потери мощности. Для решения всех этих проблем используют моторные дроссели или синусные фильтры.

В зависимости от длины кабеля и наличия у него экрана следует выбирать либо

моторный дроссель, либо синусный фильтр (рис. 3). При этом надо понимать, что моторный дроссель не способен сделать идеальную синусоиду, но, тем не менее, он эффективно уменьшает скорость нарастания выходного напряжения. Использование моторного дросселя защищает двигатель от перенапряжения, подавляет электромагнитные помехи, снижает уровень акустического шума. При неболь-

шой длине кабеля он оказывается даже предпочтительнее синус-фильтра из-за меньшего уровня потерь, вносимых в цепь, и меньшей стоимости.

Но при большой длине кабеля или при повышенных требованиях к уровню помех синус-фильтр оказывается незаменим. Обычно синус-фильтр снижает коэффициент гармоник до уровня ниже 5%, т. е. двигатель пита-

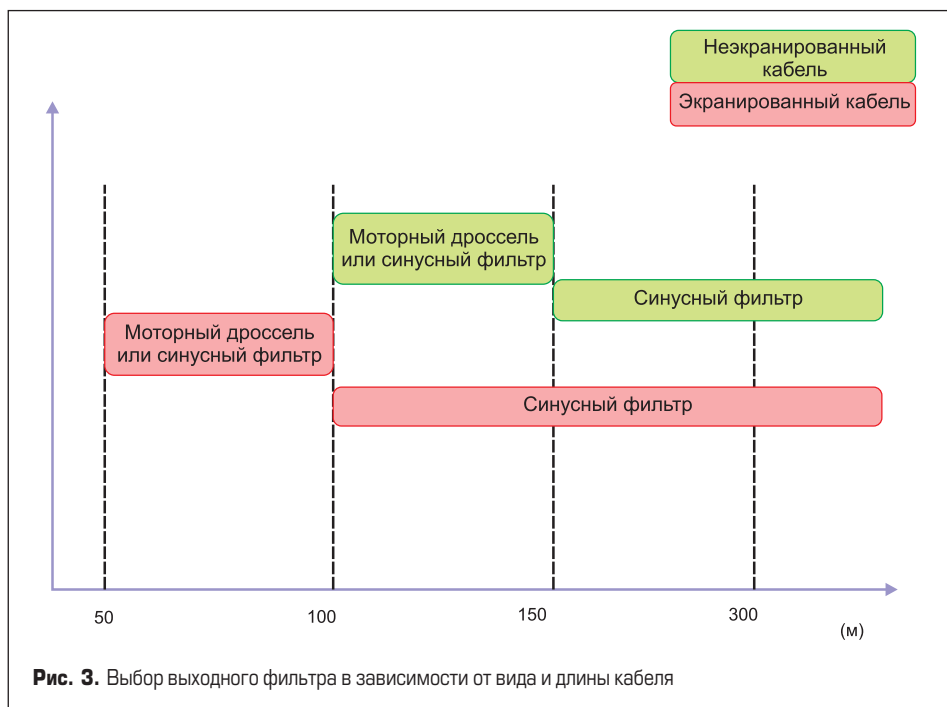


Рис. 3. Выбор выходного фильтра в зависимости от вида и длины кабеля

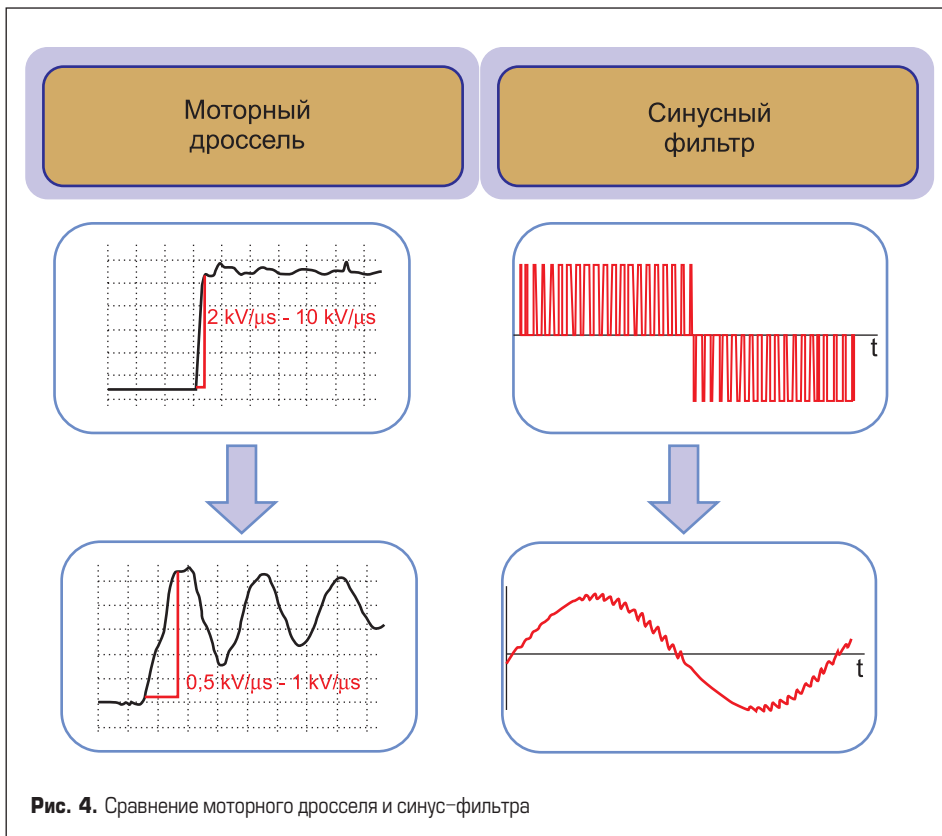


Рис. 4. Сравнение моторного дросселя и синус-фильтра

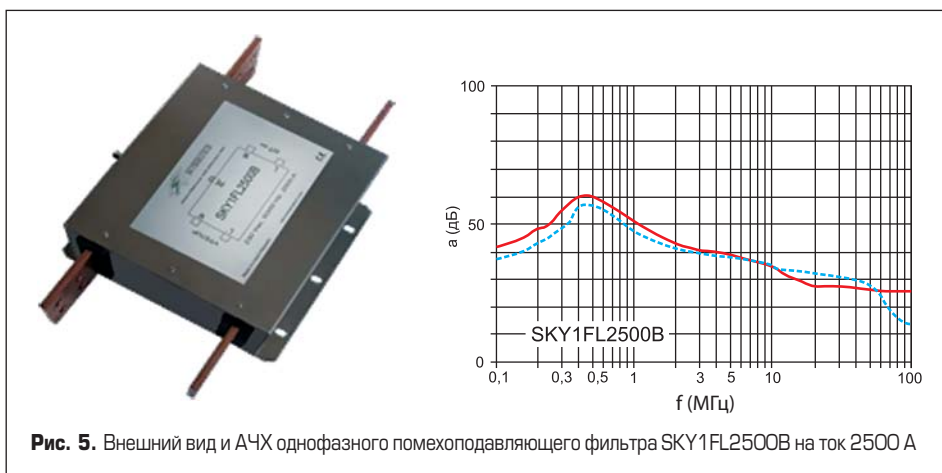


Рис. 5. Внешний вид и АЧХ однофазного помехоподавляющего фильтра SKY1FL2500B на ток 2500 А

ется практически чистой синусоидой (рис. 4). Во многих случаях применение синус-фильтра позволяет отказаться от применения дорогостоящего экранированного кабеля. Отсутствие перенапряжения на обмотке двигателя, снижение подшипникового тока, уменьшение потерь и акустического шума — это далеко

не все эффекты от применения синус-фильтра. Правильно подобранный синус-фильтр способен продлить срок безаварийной эксплуатации ЭД в несколько раз.

Чешская компания Skybergtech, основанная в 1992 г., занимается производством полного спектра фильтров для защиты ПЧ и двигате-

лей. Компания предлагает фильтры Класса А (EN 55011) и Класса В (EN 55011, 22) с подавлением помех в диапазоне от 150 кГц до 30 МГц. В предложении имеются одно- и трехфазные фильтры на ток 3–2500 А и напряжением от 12 В до 25 кВ. Для особо критичных случаев компания выпускает фильтры с подавлением помех до 80 дБ в диапазоне частот 0,01–1000 МГц.

Сетевые помехоподавляющие фильтры представлены в продукции компании Skybergtech однофазной серией SKY1FL (рис. 5) и трехфазной серией SKY3FL. В обеих сериях доступны варианты для токов 3–2500 А.

Специально для работы с несимметричной нагрузкой компания разработала линейку фильтров SKY4FL (рис. 6). У этих фильтров четыре катушки располагаются на общем сердечнике и обеспечивают эффективное подавление помех даже в случае глубокой разбалансировки фаз нагрузки. Фильтр подключается по пятипроводной схеме и обеспечивает подавление помех не менее 30 дБ в диапазоне от 150 кГц до 30 МГц.

Помехоподавляющие сетевые фильтры используются не только для частотных преобразователей, но и для других устройств, например тиристорных регуляторов, устройств плавного пуска, источников питания, инверторов и т. д.

В качестве однофазных и трехфазных сетевых дросселей компания предлагает линейки SKY3TLT (рис. 7) и SKYTLT (рис. 8). Конструктивно серия представляет собой бескорпусные катушки индуктивности, намотанные на Ш-образном сердечнике.

Конкретные модели в серии охватывают следующий диапазон параметров:

- индуктивность от 20 мкГн до 10 мГн;
- ток 3–1450 А;
- падение напряжения на дросселе, выраженное в процентах от рабочего напряжения, 2–9%.

Рабочее напряжение серии 3×230/400 В.

Дроссели постоянного тока представлены серией SKYTDC и SKY2TDC для включения в один и два провода соответственно. Благодаря своему опыту и использованию современных магнитных материалов инженеры компании изготавливают дроссели постоянного тока с уникальными массогабаритными характеристиками (рис. 9). Так, дроссель SKY2TDC1200-0,045, рассчитанный на ток 1200 А при постоян-

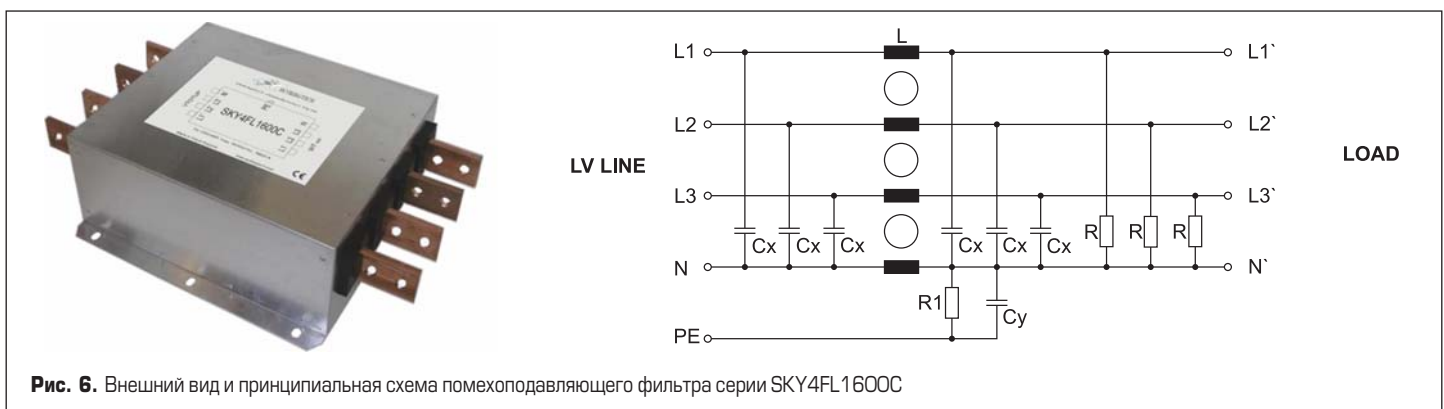
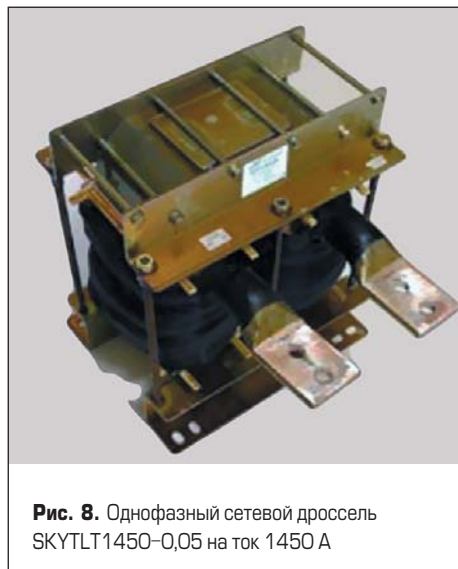


Рис. 6. Внешний вид и принципиальная схема помехоподавляющего фильтра серии SKY4FL1600C



**Рис. 7.** Трехфазные сетевые дроссели SKY3TLT



**Рис. 8.** Однофазный сетевой дроссель SKYTLT1450-0,05 на ток 1450 А



**Рис. 9.** Корпусированный дроссель постоянного тока

ном напряжении 1200 В, весит меньше 60 кг. Серийные модели рассчитаны на постоянное напряжение 330–1200 В и ток 7–1200 А.

Для подавления помех на выходе преобразователя частоты устанавливают моторные дроссели или синус-фильтры.

В качестве моторных дросселей (рис. 10) Skybergttech предлагает использовать подсерию сетевых дросселей SKY3TLT с потерями 2%. В серию входят трехфазные дроссели на напряжение 3×230/400 В и токи 3–800 А.

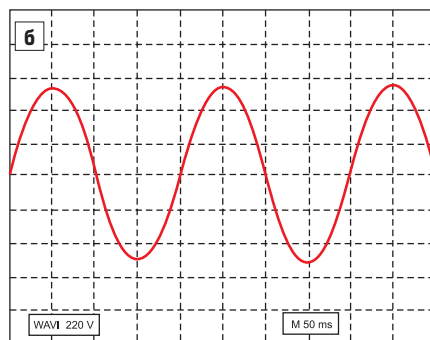
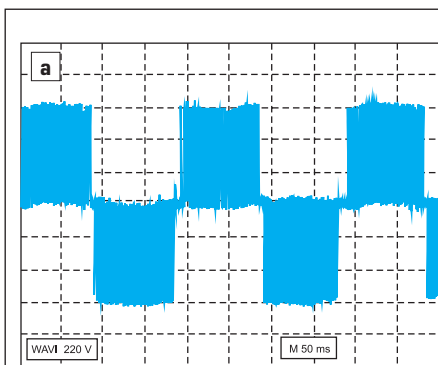
При небольшой длине кабеля и низкой частоте преобразователя частоты в качестве моторного дросселя можно использовать фильтр *dudt*. Компания предлагает модель SKY3TLDUDT1200 на ток 1200 А

и напряжение 3×690 В, которую можно использовать не только с преобразователями частоты, но и с DC/AC-преобразователями напряжения.

При повышенной частоте преобразователя или при длинном кабеле использование синусного фильтра является необходимым условием. Производитель предлагает синусные фильтры серии SKY3FSM на токи 2,5–2500 А при напряжении 3×400 В и частоте переключения 5–16 кГц. Использование синусного фильтра позволяет получить практически идеальную синусоиду без высших гармоник (рис. 11).



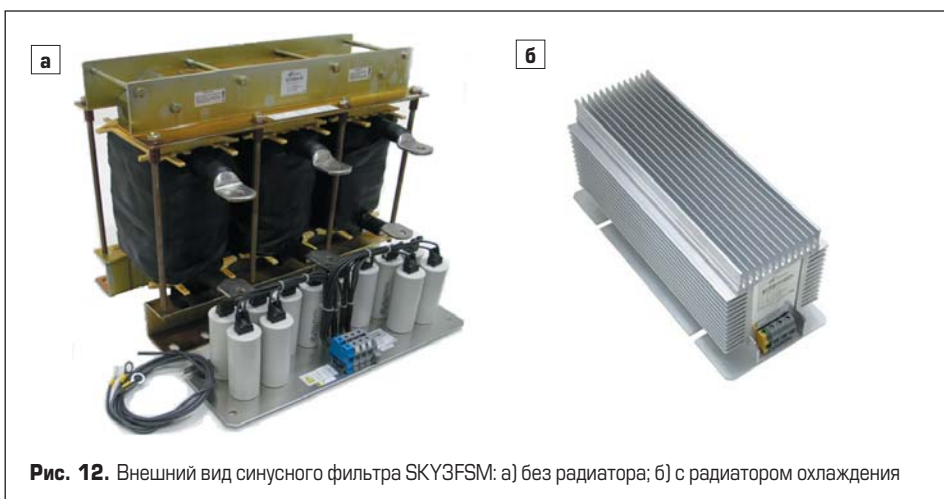
**Рис. 10.** Моторный дроссель на 800 А



**Рис. 11.** Напряжение: а) до синусного фильтра серии SKY3FSM; б) после него

Фильтры могут иметь различное исполнение, в том числе с радиатором охлаждения и степенью защиты IP67 (рис. 12).

Помимо стандартных фильтров, фирма Skybergttech выпускает помехоподавляющие фильтры для специальных приложений, например фильтры с подавлением помех до 80 дБ, фильтры для постоянных напряжений до 25 кВ, в том числе фильтры для трамваев, троллейбусов и локомотивов (рис. 13). Также компания Skybergttech изготавливает высокочастотные трансформаторы и фильтры специального назначения. Особое направление деятельности компании — это разработка дросселей и фильтров под спецификацию клиента.



**Рис. 12.** Внешний вид синусного фильтра SKY3FSM: а) без радиатора; б) с радиатором охлаждения



**Рис. 13.** Высоковольтный фильтр для локомотива мощностью 7,5 МВт (напряжение пробоя фильтра 60 кВ)