

УДК: 621.314

Валиахметов Артур Рамилевич,  
1ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Доломанюк Леонид Владимирович,  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Научный руководитель:  
Доломанюк Л.В., доцент к.пед.н. доцент

## ГИБРИДНЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С НЕЛИНЕЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ

**Аннотация:** В данной статье исследуется тема гибридных фильтров для систем с нелинейными нагрузками в распределительных сетях. Проведён анализ влияния нелинейных нагрузок на качество электроэнергии. Подробно рассмотрена классификация технических средств фильтрации гармонических искажений, таких как силовые фильтры, выделены особенности пассивных и активных фильтров. Основное внимание уделяется анализу эффективности гибридных фильтров. Приведён пример гибридного фильтра в трехфазной четырехпроводной сети, представлена его структура и принцип работы.

**Ключевые слова:** гибридные фильтры, нелинейные нагрузки, качество электроэнергии, гармонические искажения, распределительные сети

Электрическая энергия, играя важную роль в человеческой жизни и производстве, оказывает влияние на качество производимой продукции и на ее потребление. С появлением коммерческих структур, занимающихся генерацией и распределением электроэнергии, вопрос обеспечения качества этой энергии стал одной из ключевых задач.

Понятие качества электроэнергии имеет свои особенности, отличающие его от аналогичных понятий в других областях. Каждое электротехническое устройство спроектировано для работы при определенных параметрах электроэнергии, таких как частота, напряжение и ток. Следовательно, для гарантированной функциональности аппаратов необходимо обеспечить соответствующее стандартам электроснабжение, характеризующееся установленными параметрами [1]. Оценка электроэнергии зависит от характеристик не только производителя, но и потребителей. Нелинейные нагрузки, распространенные среди потребителей, оказывают значительное влияние на качество электроэнергии. Именно они приводят к появлению гармонических искажений в напряжении сети, и это воздействие ощущается не только в точке потребления, но и на всей сети электроснабжения.

Последние годы характеризуются значительными искажениями синусоидальной формы токов и напряжений в сетях электроснабжения, как на промышленных предприятиях, так и среди коммерческих, офисных и бытовых потребителей [1]. Эти искажения вызваны изменением характера электрических нагрузок, такими как энергосберегающие системы освещения, офисная и компьютерная техника, а также частотно-регулируемые электроприводы. Этим обусловлено появление низкочастотных гармоник в спектрах токов потребителей. Для трехфазных сетей серьезной проблемой стали токи нулевой последовательности, включая третью гармоническую составляющую, которая суммируется в нейтральных проводниках. Это может вызвать повышенные потери энергии и, в некоторых случаях, аварии. Повышение напряжения между нейтральной точкой и землей может негативно повлиять на работу чувствительного электронного оборудования и привести к дополнительному нагреву обмоток трансформаторов.



Для улучшения качества электроэнергии предпринимаются различные меры, включая организационные и технические. Необходимо изменить условия распространения токов высших гармоник, а в некоторых случаях установить технические средства, способные фильтровать высшие гармоники токов и напряжений [2]. Это позволяет снизить негативное воздействие на качество электроэнергии и обеспечить стабильную работу электронного оборудования.

В электрических распределительных сетях часто используют специальные устройства, называемые силовыми фильтрами. Они делятся на активные, пассивные и гибридные (рис. 1).

Пассивными фильтрами гармоник (ПФГ), для решения проблемы гармонических искажений. ПФГ обладают несколькими преимуществами, такими как низкая стоимость, минимальная потребность в обслуживании и способность одновременно уменьшать гармонические искажения и корректировать коэффициент мощности. Однако в сетях с низким напряжением (0,4 кВ и выше), где активное сопротивление является доминирующим фактором, эффективность ПФГ снижается, и их использование не всегда приносит желаемый результат [2].

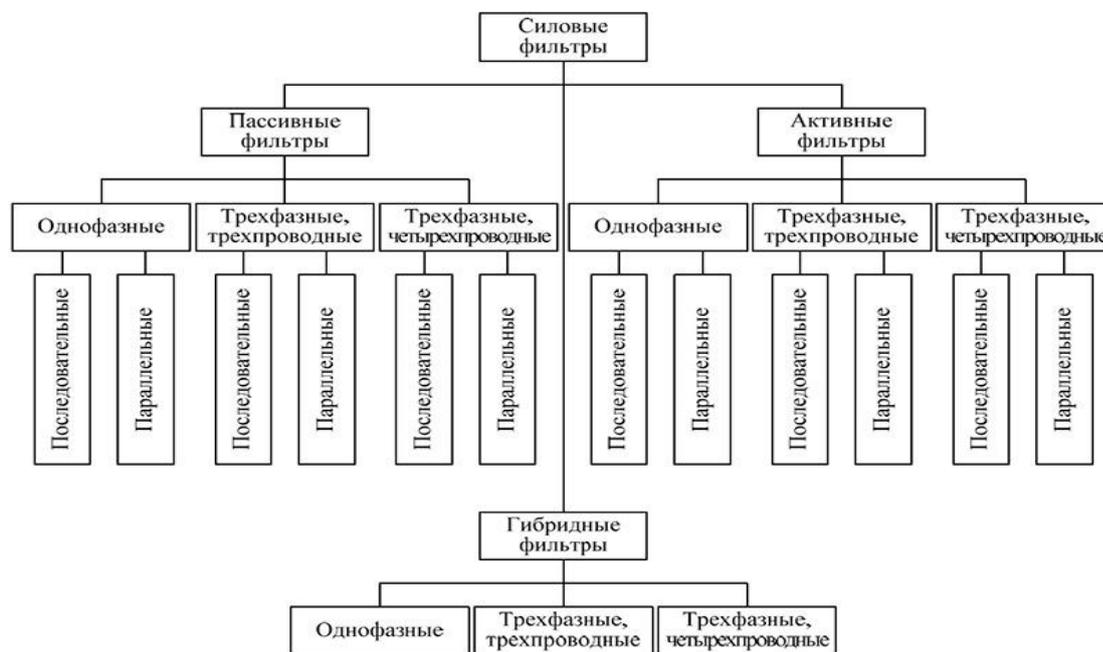


Рисунок 1 – Классификация фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) для гармонических искажений

Альтернативой пассивным фильтрам являются активные фильтры гармоник (АФГ). Эти устройства обладают специфическими характеристиками, которые настраиваются с использованием специальных управляющих законов. АФГ способны одновременно снижать высшие гармоники, корректировать коэффициент мощности, уменьшать фликер и выполнять другие функции. Основным компонентом активного фильтра является трехфазный инвертор. Однако следует отметить, что активные фильтры гармоник являются более сложными и дорогими в установке по сравнению с пассивными фильтрами [3].

В большинстве случаев в электрических сетях применяют как пассивные, так и активные фильтры совместно. Такое объединение фильтров известно как гибридные фильтрокомпенсирующие устройства. Гибридные системы предоставляют возможность снизить мощность активных фильтров, что влечет за собой уменьшение общей стоимости



устройства. Одним из важных преимуществ гибридных фильтров является их применимость в тех сетях, где уже установлены пассивные фильтры. В таких случаях активные фильтры малой мощности могут использоваться для регулирования работы пассивных устройств и улучшения их характеристик [4].

Рассмотрим пример такого фильтра. Его схема представлена на рис. 2.

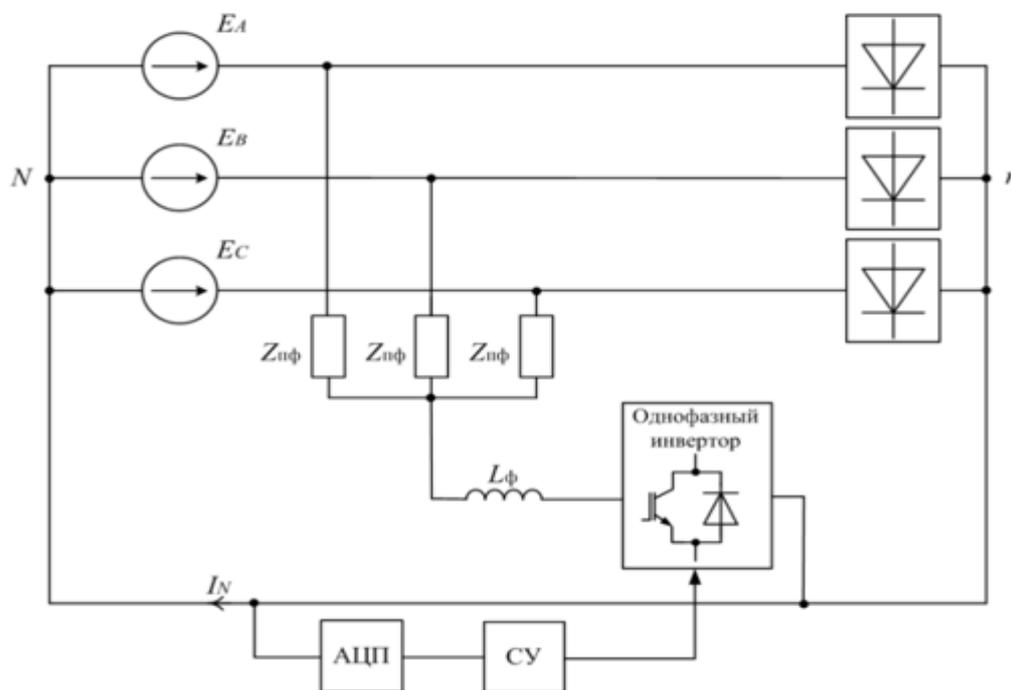


Рисунок 2 – Схема гибридного фильтра

Гибридный фильтр интегрирован в трехфазную четырехпроводную сеть, включает в себя последовательное соединение пассивного и активного фильтров. Внутри пассивного фильтра находятся последовательные резонансные контуры ( $Z_{пф}$ ), которые настроены на частоты нечетных гармоник. Силовая часть активного фильтра представлена однофазным инвертором. Отличие данной конфигурации гибридного фильтра от других состоит в том, что активный фильтр включен между нейтральными точками пассивного фильтра и нелинейной нагрузкой. На рисунке также присутствуют АЦП (аналого-цифровой преобразователь) и СУ (система управления активным фильтром), которые регулируют работу фильтра. Эта конфигурация позволяет существенно снизить потребляемую мощность активного фильтра и, таким образом, сделать устройство более экономичным [5].

В заключение, гибридные фильтры представляют собой эффективное и перспективное решение для борьбы с гармоническими искажениями в сетях с нелинейными нагрузками. Они сочетают в себе преимущества пассивных и активных фильтров, обеспечивая улучшенное качество электроэнергии и экономию затрат. Дальнейшие исследования и разработки в области гибридных фильтров будут способствовать повышению эффективности, надежности, а значит и качества электроснабжения, что остается ключевым вопросом в современной энергетике.

#### Список литературы:

1. Темербаев С.А., Боярская Н.П., Довгун В.П. Анализ качества электроэнергии в городских распределительных сетях 0,4 кВ // Журнал Сибирского федерального университета. Серия техника и технологии. 2020. № 1. С. 107–120.



2. Боярская Н. П., Довгун В. П. Гармонический анализ процессов в электрических сетях с нелинейными нагрузками // Вестник КрасГАУ. 2021. №2. С. 135-141.
3. Дербенев А.М., Темербаев С.А. Адаптивная система формирования управляющих сигналов для активных фильтров гармоник // Современные техника и технологии: сб. тр. XVII Международной конференции студентов и молодых ученых. Томск. 2018. №1. С. 41-42.
4. Шандрыгин Д.А. Компенсация искажений напряжения в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой / Д.А. Шандрыгин, В.П. Довгун, Д.Э. Егоров, И.В. Солопко, З.А. Шишкин // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 12. № 4 (48). С. 38-53.
5. Чернышов М.О., Довгун В.П., Малошенок О.Е. Гибридные силовые фильтры для трехфазных четырехпроводных сетей // Проблемы энергетики. Сибирский федеральный университет, институт космических и информационных технологий. 2016. № 1-2. С. 11-19.

