

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС»

КРЕЩАНОВСКИЙ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В
НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СЕТЯХ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМИ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

Специальность 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук
Шевырёв Юрий Вадимович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационной работы. В настоящее время практически на всех предприятиях минерально-сырьевого комплекса внедряются частотно-регулируемые асинхронные электроприводы (ЧРЭП). Применение частотных преобразователей позволяет добиться экономии электроэнергии, уменьшить расходы на эксплуатацию, повысить надежность работы оборудования, увеличить срок службы двигателей и механизмов.

Широкое использование частотных преобразователей в нефтепромысловых сетях приводит к существенному отклонению формы напряжения в электрических сетях от синусоидальной. Искажение синусоидальной формы кривой напряжения приводит к увеличению потерь мощности в линиях электропередач, трансформаторах, реакторах и двигателях; сокращению срока службы электротехнического оборудования; высокой вероятности резонанса в электрической сети и выходу из строя батарей статических конденсаторов; сбоем в работе систем релейной защиты и автоматики. Поэтому повышение качества электроэнергии в нефтепромысловых сетях с частотно-регулируемыми электроприводами является актуальной задачей.

Перспективным средством фильтрации высших гармоник являются активные фильтры гармоник (АФГ). При соответствующем законе управления АФГ генерируют управляемые высшие гармоники тока в противофазе с фактическими гармониками токов преобразователей. Это позволяет получить практическую синусоидальную форму тока сети. Кроме того, АФГ может работать в режиме управляемого компенсатора реактивной мощности.

Применение активных устройств фильтрации высших гармонических составляющих потребляемого тока в свою очередь снижает гармонические искажения сетевого напряжения, позволяет, по сравнению с классическими пассивными фильтрами, добиться большей гибкости и стабильности системы.

Важным аспектом проектирования систем электроснабжения с АФГ является правильный выбор параметров АФГ, а также регулирование напряжения емкостного накопительного звена.

С учетом того, что такие устройства являются, по своей силовой части, управляемыми источниками тока с высокой частотой коммутации, активные фильтры генерируют высокочастотные помехи в сеть. Одним из возможных решений снижения передаваемых в сеть высокочастотных помех активными фильтрами гармоник является применение выходных фильтров низких частот. Другим способом снижения передаваемых в сеть высокочастотных помех от АФГ является применение многоуровневых инверторов с соответствующими системами управления.

При проектировании и выборе параметров АФГ необходимо учитывать, что только комплексный подход, учитывающий свойства системы электроснабжения (СЭС) и нелинейных нагрузок, позволит решить задачу проектирования АФГ.

На стадии проектирования, а также в процессе наладки АФГ необходимо иметь имитационные модели АФГ, учитывающие свойства СЭС и нелинейных нагрузок и позволяющие судить о качестве электроэнергии при наличии АФГ.

Проблема проектирования и выбора параметров АФГ является одной из важнейших при создании современных систем с регулируемым электроприводом. Решение этой проблемы возможно только при наличии научно обоснованных технических требований к АФГ.

Степень разработанности проблемы. Вопросам оценки эффективности применения разных типов АФГ в распределительных сетях с ЧРЭП для улучшения синусоидальной формы напряжения сети посвящено достаточно много работ. Среди них необходимо выделить работы отечественных ученых: Абрамович, Б.Н., Дед А.В., Довгун В.П., Мещеряков В.Н., Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Сычев Ю.А., Титов Д.Ю., Хабибулин М.М., Шевырев Ю.В., Янченко С.А. и др.

Выполненный анализ показал, что во многих работах при оценке эффективности применения АФГ в распределительных сетях с ЧРЭП недостаточно изучены вопросы связанные с взаимовлиянием параметров сети, активного фильтра и нелинейных потребителей, возможности применения трехуровневых силовых частей АФ, регулирования напряжения на звене постоянного тока активного фильтра с системой управления, основанной на

теории мгновенной мощности и фазных преобразований, а также вопросы взаимовлияния ЧРЭП и средств повышения качества электроэнергии смежных линий электроснабжения.

Цель работы: обоснование параметров АФГ для повышения качества электроэнергии в нефтепромысловых электрических сетях, содержащих электроприводы с частотными преобразователями.

Идея работы: установление влияния на качество электроэнергии свойств и особенностей АФГ, системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки позволит обосновать параметры АФГ, обеспечивающие повышение качества электроэнергии в нефтепромысловых сетях с частотно-регулируемыми электроприводами.

Задачи исследования.

1. Создать имитационные модели, позволяющие количественно установить влияние АФГ на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения и учитывающие наличие системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

2. Установить зависимости, характеризующие влияние на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения параметров двухуровневого АФГ при учёте свойств и особенностей системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

3. Установить зависимости, характеризующие влияние на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения параметров трёхуровневого АФГ при учёте свойств и особенностей системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

4. Установить зависимости, характеризующие взаимное влияние смежных ветвей СЭС на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, учитывающие наличие в этих ветвях нелинейной нагрузки и АФГ.

5. На основе установленных зависимостей обосновать метод выбора параметров АФГ и регулятора напряжения на конденсаторе АФГ с целью

получения нормативного суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения при наличии ЧРЭП в нефтепромышленных сетях.

Научная новизна результатов исследования.

1. Созданы имитационные модели, позволяющие установить количественное влияние АФГ на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения при учёте свойств и особенностей АФГ, системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

2. Установлены зависимости, характеризующие влияние на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения параметров двухуровневого АФГ, отличающиеся учётом свойств и особенностей системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

3. Установлены зависимости, характеризующие влияние на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения параметров трёхуровневого АФГ, отличающиеся учётом свойств и особенностей системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

4. Установлены зависимости, характеризующие взаимное влияние смежных ветвей СЭС на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения и учитывающие наличие в этих ветвях АФГ и нелинейной нагрузки.

Теоретическая значимость работы заключается в:

- создании имитационных моделей, дающих возможность количественно установить влияние параметров АФГ на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения и учитывающих свойства и особенности системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки;

- установлении зависимостей, характеризующих влияние параметров двухуровневого и трёхуровневого АФГ на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, отличающихся учётом свойств и особенностей системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС

и нелинейной нагрузки и позволяющих обосновать выбор АФГ и регулятора напряжения на конденсаторе АФГ с целью получения нормативного суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения.

Практическая значимость работы заключается в:

- создании имитационных моделей для количественной оценки влияния АФГ на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения с учётом свойств и особенностей АФГ, системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки, дающих возможность принятия обоснованных решений на этапах проектирования и эксплуатации АФГ;

- в разработке рекомендаций по выбору параметров АФГ с учётом свойств и особенностей системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки, выполнение которых позволит повысить качество электроэнергии в нефтепромысловых сетях с частотно-регулируемыми электроприводами.

Методы исследования. При проведении исследований были использованы методы, которые применяются при имитационном моделировании электрических цепей, электрических машин, силовой полупроводниковой техники, теории автоматического регулирования, систем электроснабжения.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Имитационные модели, позволяющие установить количественное влияние параметров АФГ на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения и учитывающие особенности и свойства системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

2. Зависимости, характеризующие влияние параметров двухуровневого АФГ на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, учитывающие особенности и свойства системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки, позволяющие обосновать выбор параметров двухуровневого АФГ.

3. Зависимости, характеризующие влияние параметров трёхуровневого АФГ на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, учитывающие особенности и свойства системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки, позволяющие обосновать выбор параметров трёхуровневого АФГ.

4. Зависимости, характеризующие взаимное влияние смежных ветвей СЭС на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, учитывающие наличие в этих ветвях нелинейной нагрузки и АФГ и позволяющие выбрать параметры АФГ для случая смежных ветвей.

Степень достоверности результатов. Сформулированные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации подтверждаются: корректным применением теорий электрических цепей, электрических машин, полупроводниковой преобразовательной техники, автоматического регулирования, электроснабжения; анализом литературы по теории и применению АФГ; сравнением и сходимостью результатов имитационного моделирования с результатами измерения аналогичных процессов в распределительных сетях с ЧРЭП, расхождение между которыми не превышает 10%.

Апробация результатов. Основные положения работы докладывались и обсуждались на: Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (г. Москва, 2022–2025 гг.), заседаниях научного семинара кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСИС (г. Москва, 2025 г.).

Реализация выводов и рекомендаций работы. Имитационные модели, методики выбора параметров активных фильтров гармоник используются в ООО «Электротехническая промышленная компания» при решении задачи повышения качества электроэнергии в распределительных электрических сетях с частотно-регулируемыми электроприводами.

Публикации. Результаты исследований, отражены в 3 публикациях, в том числе 2 опубликованы в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Объем и структура диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 136 наименований и 2 приложений. Основная часть диссертации изложена на 165 странице, в тексте содержится 106 рисунков и 21 таблица.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснована актуальность и степень научной разработанности темы исследования, сформулированы цель, основная идея работы, задачи исследования, основные научные положения и новизна, а также научное и практическое значение работы.

В первой главе выполнен обзор общего состояния нефтедобычи в России, основных технологических процессов и потребителей технологического процесса добычи нефти, требований к качеству электроэнергии и определены причины отклонения параметров качества электроэнергии от норм и их негативное влияние.

Выполнен обзор существующих мер и устройств повышения качества электроэнергии. Описаны преимущества и недостатки применения активных устройств повышения параметров качества электроэнергии (ПКЭ). Основные недостатки таких устройств связаны с несовершенными системами вычисления высших гармонических составляющих (ВГС) и регулирования напряжения. В качестве перспективного устройства рассмотрен параллельный активный фильтр гармоник с системой управления, основанной на теории мгновенной мощности и релейной модуляцией компенсационных токов.

Дана оценка классического метода регулирования напряжения звена постоянного тока для такой системы. Основным недостатком данного метода является воздействие ПИ-регулятора на абсолютное значение действительной мощности высших гармонических искажений и отсутствие воздействия на мнимую составляющую. При таком регулировании в случае отклонения напряжения на конденсаторе АФГ, регулирующее воздействие будет вычитаться из действительной мощности ВГС и не влиять на ее амплитуду. При учете специфики работы релейной модуляции компенсируемых токов и

заряда конденсатора это воздействие не может в полной мере регулировать напряжение.

Проанализированы типовые системы электроснабжения участков нефтедобычи с частотно-регулируемыми электроприводами (ЧРЭП) и параметры качества электроэнергии в узлах такой системы.

Во второй главе разработаны имитационные модели системы электроснабжения на основе схем участков электроснабжения (рисунок 1) в программном комплексе MATLAB&Simulink. В качестве апробации таких модели проведено сравнение параметров качества электроэнергии на моделях и реальной системе электроснабжения.

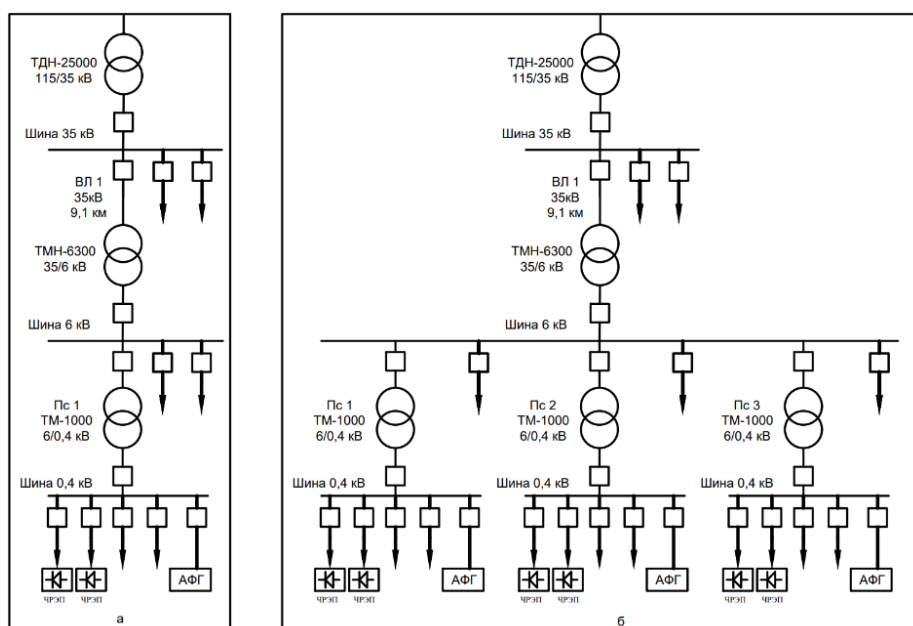


Рисунок 1 - Схемы расчетных участков электроснабжения

Имитационные модели нелинейных потребителей, построенные на основе автономных инверторов напряжения, питающихся от одной из понижающих подстанций 6/0,4 кВ, и активного фильтра гармоник представлены на рисунке 2.

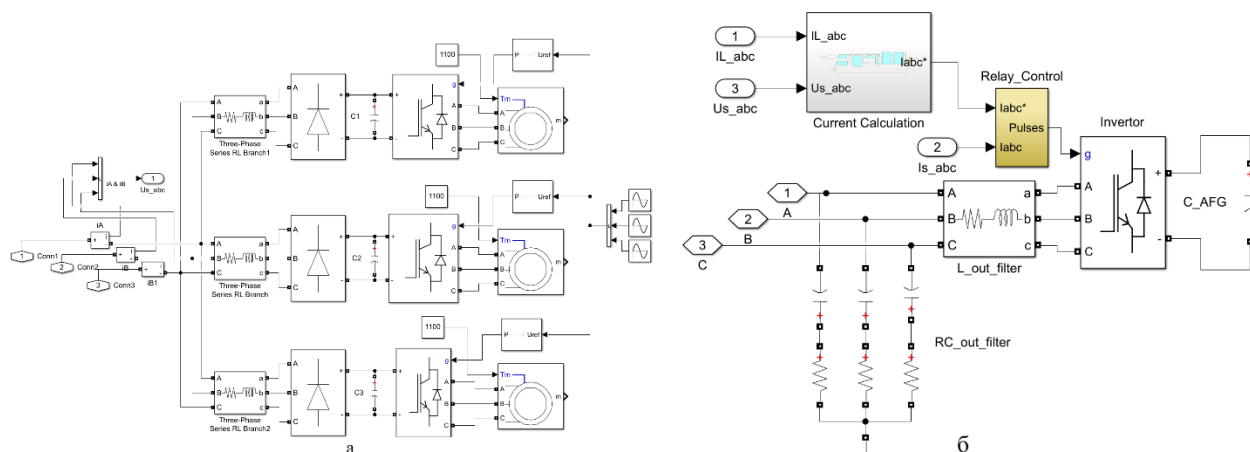


Рисунок 2 - Имитационная модель нелинейной нагрузки (а) и АФГ (б)

Третья глава посвящена исследованию взаимовлияния параметров активных фильтров гармоник с двухуровневой структурой и параметров частотно-регулируемых электроприводов на работу АФГ.

К параметрам активного фильтра гармоник, влияющих на эффективность компенсации высших гармонических составляющих (ВГС), относятся параметры выходного RLC фильтра и емкость конденсатора звена постоянного тока.

Установлено влияние на эффективность компенсации ВГС фильтром параметров питающей сети, высших гармонические составляющие питающей сети, параметров линий питания нелинейных потребителей, параметров нелинейных потребителей.

Выполненные расчёты на модели позволили получить зависимости коэффициента K_u при изменении параметров выходного фильтра.

Проведено исследование влияния параметров нелинейных потребителей на эффективность фильтрации высших гармонических искажений активным фильтром.

На основании установленных зависимостей был сделан вывод, что необходимо учитывать взаимовлияние параметров АФГ. При выборе параметров необходим комплексный подход к оценке влияния внешних параметров сети, нелинейной нагрузки и параметров АФГ на качество электроэнергии.

Включение RC фильтра на выходе АФГ повышает эффективность работы АФГ, но, практически, не влияет на КЭ, а параметры такого фильтра не зависят от нагрузки ЧРЭП.

Выбор индуктивности реактора и емкости накопительного конденсатора активных фильтров гармоник является основной задачей при проектировании регуляторов качества электроэнергии на основе АФГ. При этом параметры сети и параметры электроприводов нагрузки могут существенно влиять на работу АФГ при отсутствии системы регулирования напряжения АФГ.

Индуктивность выходного реактора АФГ в существенной степени влияет на эффективность работы активного фильтра. При выборе индуктивности реактора необходимо учитывать мощность, потребляемую нелинейной нагрузкой и емкость накопительного конденсатора.

Емкость накопительного звена постоянного тока активного фильтра является одной из основной частей АФГ. Так как существует взаимосвязь этой емкости с индуктивностью реактора, то при выборе ее величины необходимо принимать во внимание ранее выбранную индуктивность реактора.

В четвертой главе выполнено исследование эффективности применения регулирования напряжения на конденсаторе активного фильтра и выбор параметров АФГ при применении регулятора напряжения.

Для регулирования напряжения на звене постоянного тока предлагаемый регулятор напряжения управляет мощностями $p_{\text{вгс}}(t)$ и $q(t)$ в соответствии с установленными зависимостями:

$$p_{\text{вгс.рег}}(t) = p_{\text{вгс}}(t) \cdot f_1(U_C) = p_{\text{вгс}}(t) \cdot \left[1 - \frac{K_1 \cdot (U_C - U_{\text{опр}})}{U_{\text{опр}}} \right], \quad (1)$$

$$q_{\text{рег}}(t) = q(t) \cdot f_2(U_C) = q(t) \cdot \left[1 - \frac{K_2 \cdot (U_C - U_{\text{опр}})}{U_{\text{опр}}} \right], \quad (2)$$

где $U_{\text{опр}}$ – опорное напряжение; K_1 и K_2 – коэффициенты регулятора напряжения.

Предлагается выбирать индуктивность по току нелинейных потребителей по эмпирическому выражению:

$$L_{\text{АФГ}} = \frac{k}{I_{\text{н}}}, \quad (3)$$

где I_H – ток нелинейной нагрузки, А, $k = 258 \div 927$ мГн·Наилучшие показатели активный фильтр может обеспечить при $k = 515$ мГн·А.

Емкость накопительного конденсатора АФГ предлагается выбирать исходя из неравенства:

$$C_{\text{АФГ}} \geq \frac{(0,6 - 1,2 \cdot \ln[L_{\text{ЧРЭП}}]) \cdot K_1}{L_{\text{АФГ}}}, \quad \text{мФ} \quad (4)$$

где $L_{\text{ЧРЭП}}$ – удельная суммарная индуктивность ЧРЭП (мкГн/кВа), $L_{\text{АФГ}}$ – индуктивность реактора АФГ (мГн).

Установленные зависимости позволили обосновать выбор параметров активного фильтра гармоник при наличии регулятора.

Установленные зависимости K_u при изменении индуктивности реакторов на электроприводах нагрузки как при работе АФ с регулятором напряжения, так и без него, приведены на рисунке 3.

Для объективности оценки, добавлены результаты измерений ПКЭ при работе классического метода регулирования напряжения с использованием ПИ регулятора.

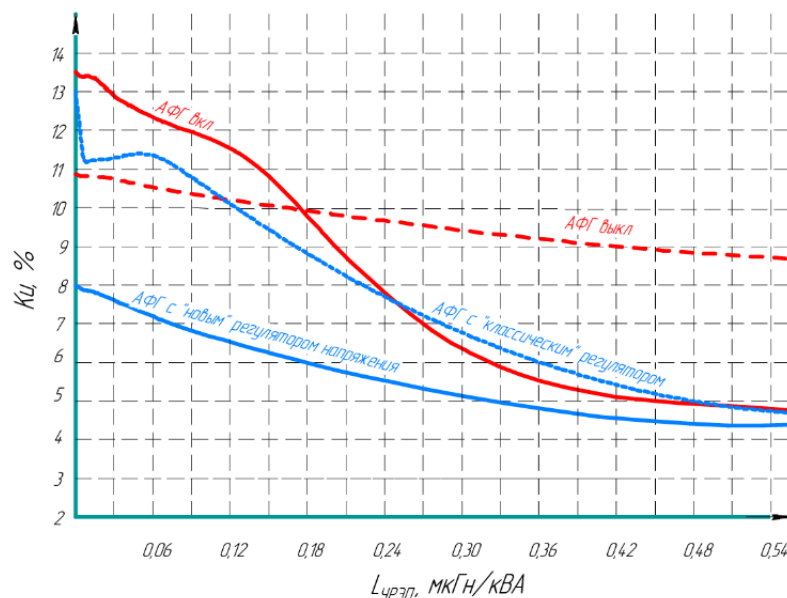


Рисунок 3 - Зависимости K_u от индуктивности линии нелинейной нагрузки

Применение регулятора напряжения конденсатора АФГ увеличивает эффективность активного фильтра как в идеальных случаях, с большой индуктивностью реакторов нагрузок, так и полном их отсутствии. Из анализа зависимостей, представленных на рисунке 3, сделан вывод о нестабильной

работе классического регулятора напряжения при изменении параметров линии нелинейной нагрузки.

Предложенный регулятор напряжения повышает эффективность АФГ при изменении уровня нелинейной нагрузки. Установленные, на имитационной модели, зависимости K_u от загрузки нелинейной нагрузкой представлены на рисунке 4.

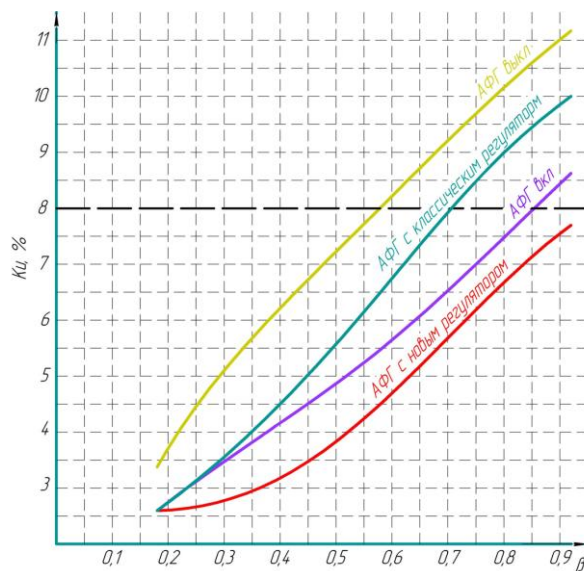


Рисунок 4 - Зависимости K_u от загрузки нелинейной нагрузкой

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 4, показал, что АФГ с «новым» регулятором напряжения эффективно подавляет ВГС на всем диапазоне возможной загрузки трансформатора. Активный фильтр без регулятора или с классическим регулятором не может обеспечить таких показателей.

На рисунке 5 приведены зависимости ПКЭ при изменении длины линии питания трансформатора.

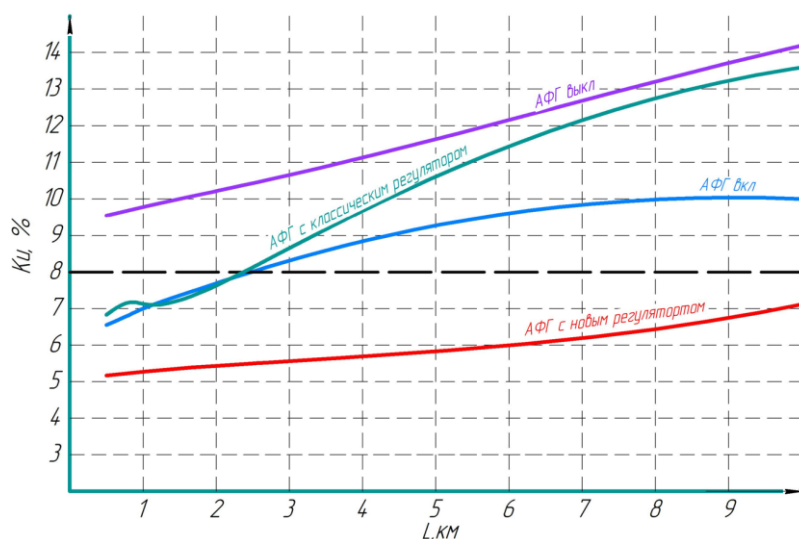


Рисунок 5 - Зависимости K_u от длины линии питания трансформатора

Анализ зависимостей представленных на рисунке 5, показал, что фильтр без регулятора или с классическим регулятором напряжения не способен снижать K_u до допустимых, согласно ГОСТ 32144-2013, норм при длине линии больше 2,5 км. При этом АФГ с регулятором напряжения на конденсаторе эффективно справляется с такой задачей на всем исследуемом диапазоне.

На основании полученных зависимостей, предложен метод выбора параметров активного фильтра гармоник и регулирования напряжения конденсатора активного фильтра, что позволяет не только регулировать и стабилизировать напряжение на конденсаторе АФГ, но и обосновать возможность применения АФГ для снижения ВГС от электроприводов без выходных реакторов.

Предложенный метод выбора параметров АФГ и регулирования напряжения на накопительном конденсаторе активного фильтра, обеспечивает эффективную работу такого устройства при существенном изменении параметров электропривода и величины нагрузки.

Проведенные исследования на разработанной компьютерной модели позволили установить значительное влияние параметров питающей сети на работу активного фильтра при отсутствии регулирования напряжения или наличии классического регулятора напряжения на накопительном конденсаторе. Однако применение предложенного регулятора напряжения на

емкостном звене АФГ существенно расширяет диапазон допустимых параметров питающей сети для эффективной работы активного фильтра.

Пятая глава посвящена исследованию эффективности применения трехуровневой структуры активных фильтров гармоник для повышения параметров качества электроэнергии.

Для трехуровневого АФ обоснована методика выбора параметров при учете параметров частотно-регулируемых электроприводов аналогично методу двухуровневого.

Предлагается выбирать индуктивность по току нелинейных потребителей по эмпирическому выражению:

$$L_{\text{АФГ}} = \frac{k}{I_{\text{н}}}, \quad (5)$$

где $I_{\text{н}}$ – ток нелинейной нагрузки, А, $k = 246 \div 827 \text{ мГн} \cdot \text{А}$, наилучшие показатели активный фильтр может обеспечить при $k = 513 \text{ мГн} \cdot \text{А}$.

При исследовании на моделях установлено следующее неравенство для расчета необходимой емкости накопительного конденсатора АФ с трехуровневой структурой при учете коэффициентов регулятора и индуктивности линии до ЧРЭП:

$$C_{\text{АФГ}} \geq \frac{(3,4 - 2,7 \cdot \lg[L_{\text{ЧРЭП}}]) \cdot K_1}{L_{\text{АФГ}}}, \quad (6)$$

На рисунке 6 для визуального сравнения приведены на одной диаграмме зависимости гармонических искажений от индуктивности линии нагрузки, для трехуровневого (сплошные линии) и двухуровневого АФГ (пунктирные линии). Сравнение установленных зависимостей показывают большую эффективность трехуровневого активного фильтра при малых искажениях кривых напряжения.

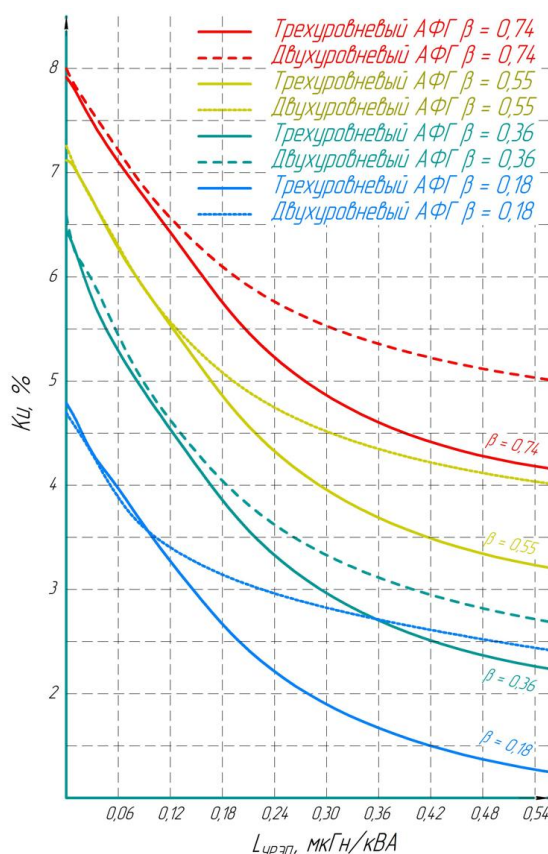


Рисунок 6 - Сравнение зависимостей $K_{ц}$ от индуктивности реактора нагрузки трехуровневого и двухуровневого АФГ

На основании полученных результатов были сформулированы выводы и рекомендации по оценке эффективности применения активных фильтров гармоник с трехуровневой структурой.

На основании полученных зависимостей, предложены методы выбора параметров трехуровневого активного фильтра гармоник и регулирования напряжения конденсатора активного фильтра, что позволяет не только регулировать и стабилизировать напряжение на конденсаторе АФГ, но и обеспечить эффективную работу такого устройства при существенном изменении параметров электропривода и величины нагрузки.

Целесообразность применения активных фильтров гармоник с трехуровневой структурой должна оцениваться в каждом конкретном случае отдельно. Такие устройства генерируют меньше искажений в сеть по сравнению с активными фильтрами с двухуровневой структурой и, вопреки большому количеству элементов в составе, могут быть более экономичны и

эффективны в работе по сравнению с активными фильтрами с двухуровневой структурой при регулировании качества электроэнергии.

Шестая глава посвящена оценке эффективности применения активных фильтров гармоник в распределительных сетях с ЧРЭП.

Анализ проведённых исследований на модели, эффективности применения АФГ в распределительных сетях с тремя параллельными ветвями позволил установить зависимости (рисунки 7 и 8) показывающие, что при включении АФГ без регулятора напряжения на всех подстанциях трех ветвей, гармонические искажения напряжения превышают аналогичные показатели при использовании предложенных алгоритмов регулирования напряжения на конденсаторе АФГ.

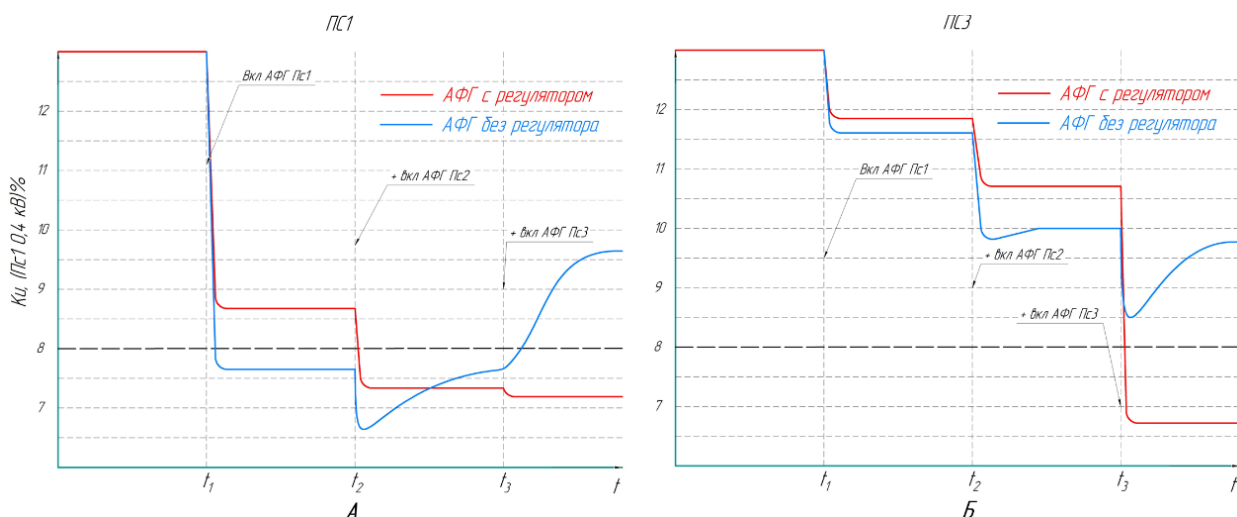


Рисунок 7 – Зависимости K_u на шинах 0,4 кВ ПС1 и ПС3 от конфигурации устройств повышения ПКЭ

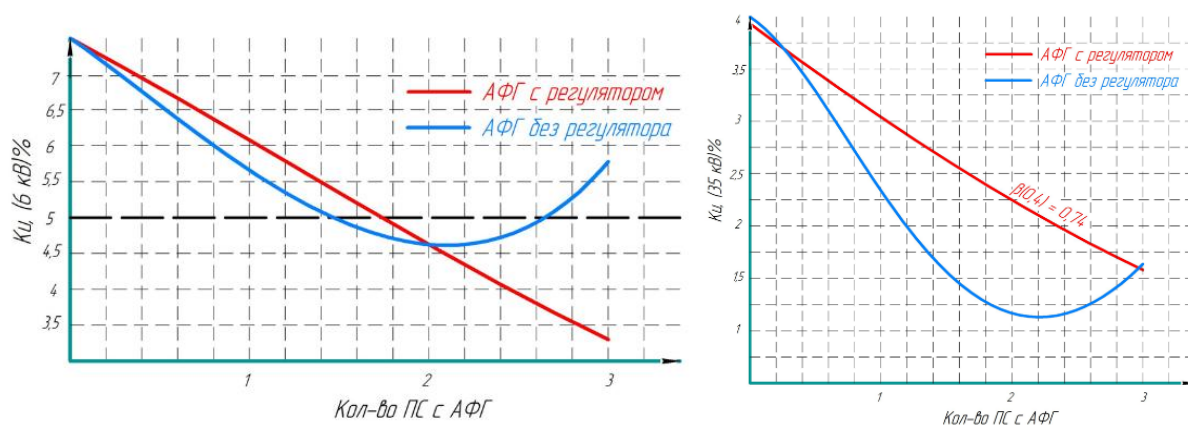


Рисунок 8 – Зависимости K_u на шине 6 и 35 кВ от конфигурации устройств повышения ПКЭ

На рисунке 7 отмечены моменты времени включения активных фильтров в смежных линиях, при этом отмечается существенное взаимовлияние АФГ таких линий, без использования разработанного регулятора. Зависимости, приведенные на рисунке 8, K_u на шине 6 и 35 кВ от количества АФГ в смежных линиях, показывают аналогичный эффект.

На рисунке 9 приведена АЧХ кривых напряжения на ПС1 без использования АФГ, при использовании АФГ без регулирования напряжения и с АФГ, включающем регулятор напряжения.

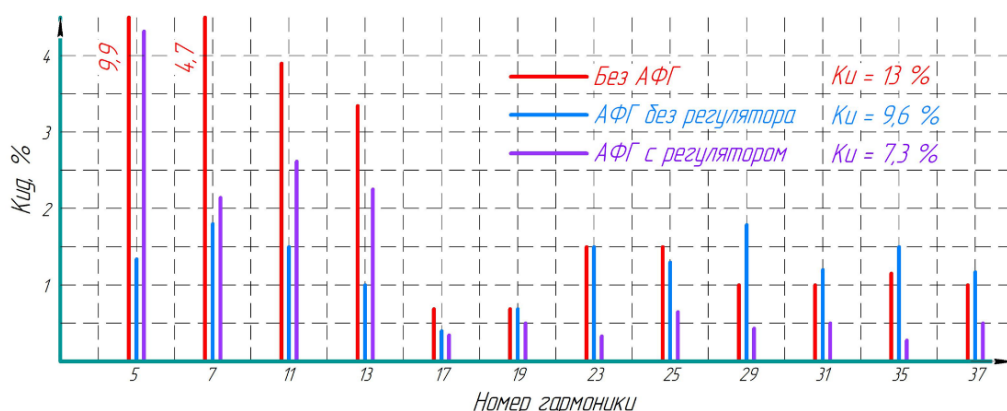


Рисунок 9 – АЧХ кривых напряжения на ПС1

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. Устройства повышения качества электроэнергии влияют на смежные ветви электроснабжения без прямой электрической связи с ними.
2. Добиться допустимых значений K_u возможно при снижении гармонических искажений на шинах соседних подстанций за счет устройств повышения ПКЭ соседних ветвей.

Заключение

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи обоснования параметров активного фильтра гармоник для повышения качества электроэнергии в нефтепромысловых сетях с частотно-регулируемыми электроприводами.

В соответствии с поставленными целями и задачами, получены следующие результаты:

1. Созданы имитационные модели, позволяющие количественно установить влияние АФГ на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения и учитывающие наличие системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

2. Установлены зависимости, характеризующие влияние на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения параметров двухуровневого АФГ при учёте свойств и особенностей системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

3. Установлены зависимости, характеризующие влияние на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения параметров трёхуровневого АФГ при учёте свойств и особенностей системы регулирования напряжения на конденсаторе АФГ, СЭС и нелинейной нагрузки.

4. Установлены зависимости, характеризующие взаимное влияние смежных ветвей СЭС на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, учитывающие наличие в этих ветвях нелинейной нагрузки и АФГ.

5. На основе установленных зависимостей обоснован метод выбора параметров АФГ и регулятора напряжения на конденсаторе АФГ с целью получения нормативного суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения при наличии ЧРЭП в нефтепромысловых сетях.

6. Разработанный метод выбора активного фильтра гармоник позволяет снижать суммарный коэффициент гармонических искажений напряжения на 64 % и суммарный коэффициент гармонических искажений тока на 79 % в распределительных электрических сетях.

7. Разработанный способ регулирования напряжения на конденсаторе активно фильтра позволяет применять АФГ при значительных изменениях параметров сети и нелинейных потребителей.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Шевырев, Ю. В. Исследование и разработка методики выбора параметров и регулятора напряжения активного фильтра гармоник / Ю. В. Шевырев, П. С. Крещановский // Промышленная энергетика. – 2025. – № 1. – С. 24-31.

2. Шевырев, Ю. В. Оценка эффективности применения активных фильтров гармоник в распределительных сетях с частотно-регулируемыми электроприводами / Ю. В. Шевырев, П. С. Крещановский // Промышленная энергетика. – 2024. – № 11. – С. 52-59.

3. Крещановский, П. С. Взаимовлияние активных фильтров гармоник параллельных линий в распределительных сетях / П. С. Крещановский // Автоматизированный электропривод, робототехника и электроэнергетика: Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры электропривода ЛГТУ, Липецк, 21 июня 2024 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2024. – С. 171-174.

4. Шевырев, Ю. В., Крещановский. П. С. Программа для оценки эффективности активного фильтра гармоник с регулятором напряжения в распределительной сети с нелинейными потребителями. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025611698. Правообладатель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ: 22.1.2025г. – С. 1.