

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу **Колмакова Виталия Олеговича** на тему «**Схемотехническое обеспечение качества электрической энергии в сетях с нелинейными электроприемниками массового применения**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

**05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»**

### **Актуальность темы**

Современная структура электропотребления определяется расширяющимся применением нелинейной нагрузки, которая вызывает искажение кривых тока и напряжения сети, приводя к несинусоидальным режимам. По этой причине энергоснабжающие организации столкнулись с серьезной проблемой «заражения» распределительных сетей высшими гармониками, которые являются важной частью проблемы электромагнитной совместимости электрооборудования.

Директивный отказ от массового использования ламп накаливания, определяемы ФЗ-261 может позволить сэкономить энергоресурсы, затрачиваемые на освещение, однако газоразрядные и полупроводниковые источники света, генерирующие широкий спектр гармоник, увеличат загрязнение питающей сети высшими гармониками еще более ухудшив электромагнитную совместимость нелинейных приемников с питающей сетью.

Электромагнитная совместимость нелинейной нагрузки с питающей сетью может быть обеспечена на основе применения частотно-зависимых или фазокомпенсирующих устройств, так называемых корректоров коэффициента мощности. Устройства коррекции коэффициента мощности представляют собой относительно сложные активные электронные цепи, что существенно снижает технико-экономическую привлекательность нелинейных электроприемников массового применения, какими являются современные источники света. Поэтому развитие эффективных, простых и надежных устройств компенсации нелинейных искажений, минимально достаточных для обеспечения требуемых показателей качества электроэнергии в сетях с электроприемниками массового применения, является важной и актуальной задачей.

Решению именно этих вопросов посвящена рецензируемая диссертация.

Диссертация выполнена на 129 страницах основного текста, состоит из введения, четырех глав и заключения. Работа содержит 73 рисунка, 18 таблиц и, список литературы, включающий 82 наименования.

**Основная идея диссертации** заключается в применении пассивных 4-лучевых частотно-зависимых устройств, имеющих минимальное число реактивных элементов и обеспечивающих одновременную фильтрацию высших гармоник и коррекцию коэффициента мощности в системах электроснабжения приёмников массового применения с нелинейными вольтамперными характеристиками.

### **Содержание работы**

**Во введении** автор, используя информационный массив российских и иностранных профессиональных изданий определяет степень актуальности про-

блемы, формулирует цель и задачи диссертации, а также научную новизну и практическую ценность.

**В первой главе** проведен анализ факторов, вызывающих возникновение и определяющих степень влияния высших гармоник на электрическую сеть. Выявлено, что неудовлетворительное качество электрической энергии характерно для городских сетей с высокой долей бытовой и офисной нагрузки. При этом основное влияние на качество электроэнергии оказывают активно внедряемые в последнее время энергосберегающие электронные приборы.

Показано, что в таких сетях уровень высших гармоник зачастую превышает стандартные ограничения, а гармоники кратные третьей и образующие нулевую последовательность могут составлять от 150 до 210 % фазного тока, что ведет к перегреву нулевого провода.

Выполнен обзор существующих технических решений для снижения негативного влияния высших гармоник, в основе которых применение как пассивных, так и активных фильтров. Автором отмечено, что активные фильтры более предпочтительны в сетях с переменной нагрузкой, но при неизменном сопротивлении нагрузки их функциональные возможности неоправданно избыточны.

По этой причине целью диссертационных исследований явилось научное обоснование применения минимально затратных по схемным решениям и, как следствие, минимальной стоимости фильтрокомпенсирующих устройств, при необходимой эффективности, а также разработка методики определения их параметров.

**Вторая глава** посвящена описанию экспериментальных исследований показателей качества электроэнергии в сетях 0,4 кВ на объектах различного назначения и, как следствие, с разным характером нагрузки – от офисной до промышленной. Полученные результаты проанализированы в координатах спектральной плотности для токов и напряжений.

Фактические значения высших гармоник тока и напряжения в исследуемых сетях подтверждают их относительную неизменность на длительных промежутках времени.

**Третья глава** посвящена обоснованию наиболее эффективной схемы на основе LC-звеньев и разработке методики её расчета. При этом обосновывается техническое решение, одновременно снижающее уровень гармоник и повышающее коэффициент мощности сети. В основе такого решения лежит использование фильтрокомпенсирующего устройства по схеме 4-лучевого фильтра, что позволяет сократить на 70% общее число реактивных элементов схемы. Методика расчета параметров фильтрокомпенсирующего устройства учитывает мощность компенсируемых гармоник.

**В четвёртой главе** приведены статические и динамические характеристики питающей сети с предлагаемой схемой ФКУ по результатам численного моделирования. Проведен сравнительный расчет надежности, подтверждающий, что применение 4-лучевого фильтра сохраняет уровень наработки на отказ основных элементов сети.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы.

Основные результаты работы получены лично автором, выводы теоретически обоснованы, подтверждены фактическими модельными, лабораторными и реальными экспериментами.

Высокое значение имеют принятые в работе теоретические положения и полученные результаты. Практическая ценность работы заключается в предложении нового схемного решения для обеспечения требуемого качества электроэнергии в сетях с нелинейными электроприёмниками массового применения.

**Наиболее значимыми результатами** диссертации следует признать:

- методику расчета параметров фильтрокомпенсирующего устройства, минимально достаточного для обеспечения требуемых показателей качества электроэнергии в сети с нелинейными электроприёмниками;

- методику определения необходимого уровня избирательности пассивного частотного звена с учетом мощности высших гармоник тока;

- использование результатов диссертационных исследований при модернизации системы освещения железнодорожного моста «4100» Красноярской железной дороги;

- подтверждение эффективности фильтрокомпенсирующего устройства, нормализующего показатели качества электроэнергии в сети 0,38 кВ.

**Новыми научными результатами**, полученными автором, являются:

- разработанная методика определения необходимого уровня избирательности пассивного фильтра, опирающаяся на учет мощности высших гармоник тока;

- обоснование возможности использования пассивных частотно-зависимых звеньев, как технических средств, минимальных по сложности и достаточных по эффективности для обеспечения требуемого уровня качества электроэнергии в системах электроснабжения приемников постоянной мощности с нелинейными вольт-амперными характеристиками;

- доказательство возможности и целесообразности использования 4-лучевых частотно-зависимых звеньев, позволяющих одновременно осуществлять фильтрацию высших гармоник и коррекцию коэффициента мощности.

**Основные практические результаты**, в первую очередь, заключаются в том, что предложенная схема 4-лучевого фильтра позволяет сократить на 70% общее число реактивных элементов, а разработанная методика определения параметров 4-лучевого фильтра необходимого уровня избирательности может служить основой для их инженерного проектирования.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается корректным использованием классических методов анализа электрических схем, математического анализа, основных положений теории автоматического управления, корректными экспериментальными данными исследуемых величин, а также экспериментальным подтверждением теоретических положений при моделировании в современной программной среде PSpice.

Материалы диссертации достаточно полно отражены в 12 публикациях, три из которых опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

Содержание автореферата в достаточной степени отражает содержание диссертационной работы.

### **Замечания по работе**

1. Несмотря на то, что основная цель работы – обоснование наиболее эффективного технического решения для пассивного фильтрокомпенсирующего устройства, автор уделил мало внимания другим альтернативным решениям.

2. Присутствие чётных гармоник токов и напряжений (рис.2.6 и 2.11) в гармонических спектрах токов и напряжений оставлено автором без комментариев при дальнейшем анализе качества электроэнергии.

3. В диссертации приведена принципиальная схема 4-лучевого пассивного фильтрокомпенсирующего устройства, но нет аналогичной схемы традиционного фильтра на основе схемы Фостера, используемого для сравнения, что затрудняет оценку некоторых результатов.

4. Список используемой литературы составлен не в порядке ссылок на неё по тексту.

### **Заключение по работе**

Отмеченные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертации, которая представляет собой комплексное завершённое исследование, содержащее научную новизну и обладающее практической ценностью.

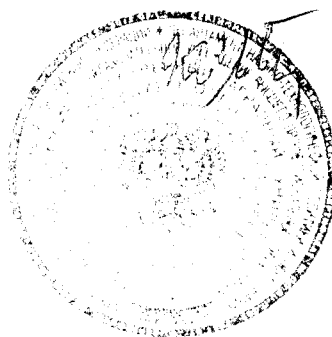
Диссертация может квалифицироваться как научно-квалификационная работа, содержащая новое научное обоснование технического решения, имеющего существенное значение для развития городских систем электроснабжения.

Считаю, что диссертационная работа Колмакова Виталия Олеговича по своей актуальности, новизне, научной и практической значимости результатов соответствует требованиям п. 9 "Положения о порядке присуждения учёных степеней", в части, касающейся кандидатских диссертаций, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент, профессор кафедры «Системозенергетика» Красноярского государственного аграрного университета, канд. техн. наук, профессор, заслуженный энергетик России, федеральный эксперт ФГБНУ НИИ РИНКЦ Министерства образования и науки Российской Федерации

02.03.2015

Почтовый адрес: 660049,  
г.Красноярск, пр. Мира, 90  
Тел. 8-913-564-84-53  
e-mail: kungs@yandex.ru



Ян Александрович Кунгс

*Ян Александрович Кунгс*  
руководитель  
руководитель