

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Разработка перспективных осветительных и сигнальных приборов на
основе светодиодов

Студент

В.К. Котов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

д.т.н., П.А. Николаев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Энергоэффективные системы освещения.....	7
1.1 Экономическая эффективности светодиодного светильника	11
1.2 Светодиодные лампы и способы получения белого цвета	14
1.3 Конструкция светодиодной лампы	18
1.4 Источники питания СД ламп	20
Выводы по главе первой.....	26
2 Влияние светодиодных светильников на качество электрической энергии	27
2.1 Выбор приборного парка для оценки влияния светодиодного светильника на качество электрической энергии	32
2.2 Проведение измерений влияния СД светильника на качество электрической энергии	33
2.3 Мероприятия по снижению влияния на качество электрической энергии светодиодных светильников	42
Выводы по главе второй.....	48
3 Разработка перспективной системы освещения на базе СД светильника ...	50
3.1 Расчет параметров ФКУ	57
3.2 Расчёт энергоэффективности перспективной системы освещения на базе светодиодных светильников с установкой ФКУ	60
Выводы по главе третьей	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	66

ВВЕДЕНИЕ

«Начиная с 2009 года, после принятия Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», на территории Российской Федерации началась масштабная компания по проведению энергетических обследований крупных и малых предприятий, государственных и муниципальных учреждений (далее – объект обследования). В соответствии с выше указанным законом, в ходе проведения энергетического обследования для каждого объекта обследования составляется Энергетический паспорт и отчет о проведении энергетического обследования, в котором содержатся мероприятия по повышению энергоэффективности (энергосбережению) и снижению затрат на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) для обследуемого учреждения» [16].

«Одним из самых распространенных и эффективных мероприятий по повышению энергетической эффективности, является реконструкция системы освещения, состоящая из светильников с лампами накаливания (ЛН) и газоразрядных ламп (НID) различных типов, на энергоэффективную систему освещения со светодиодными (СД) светильниками, в зарубежной литературе обозначаются как LED светильники. Это связано с несколькими факторами» [16]:

1. Быстрое развитие и доступность светодиодных технологий для систем освещения. В связи с тем, что стоимость светодиодов снижается, а рост тарифов на электроэнергию не прекращается, период окупаемости после внедрения систем освещения на базе светодиодных светильников, снижается. Что делает переход на системы освещения со светильниками LED экономически целесообразным.

2. Компании производители научились делать более мощные светодиоды, что расширило сферу их применения. При этом светодиодные

светильники улучшают цветовое восприятие, делают освещаемый объект более четким.

3. Высокий срок службы светодиодов, от 45000 до 100000 часов при правильной эксплуатации, позволяет снизить затраты на обслуживание систем освещения со светодиодными светильниками.

Однако, несмотря на множество достоинств, светодиодные светильники имеют ряд недостатков, главный из которых является чувствительность к качеству электрической энергии в питаемой сети, так как светодиодные светильники относятся к полупроводниковым преобразователям и имеют нелинейную вольт-амперную характеристику (далее – ВАХ).

«Так как светодиодные светильники имеют нелинейную ВАХ, они создают дополнительную эмиссию высших гармоник в питающую электрическую сеть, что в свою очередь приводит к ухудшению качества электрической энергии в питающей сети системы освещения» [16].

«Высокий уровень искажений синусоидальности при работе преобразовательных электроустановок, несимметрия фазных токов и напряжений, отклонение напряжений от номинальных значений и оказывают влияние на режим работы электроприемников, в том числе и на осветительное оборудование» [16].

В основном эти влияния отражаются только на сроках служб осветительного оборудования опосредованно, например, через перегрев электронных элементов дросселей, драйверов т. к. все это может приводить к деградации структуры светодиода и следовательно, к преждевременному выходу из него из строя.

«Таким образом, массовое внедрение энергоэффективных систем освещения на базе светодиодных ламп, может существенно повлиять на показатели качества электрической энергии у потребителей, в особенности на несинусоидальность тока и напряжения» [16], а самое главное, исходя из совокупности в местах преобладания такой нагрузки, вновь установленные

энергоэффективные системы освещения, могут выйти из строя в первые годы эксплуатации из-за снижения качества электрической энергии, в связи с увеличением доли потребителей с нелинейной ВАХ.

«Необходимо отметить, что формирование мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности по результатам проведенного энергоаудита объекта не требует оценки влияния светодиодных светильников на показатели качества электрической энергии» [16].

Такой подход, в свою очередь, при масштабной реконструкции системы освещения может привести к тому, что предприятие может понести существенные финансовые потери из-за преждевременного выхода из строя вновь установленной энергоэффективной системы освещения на базе светодиодных светильников. Включение предварительной оценки влияния предлагаемых к установке LED светильников на показатели качества электрической энергии, с рассмотрением возможных мероприятий по снижению исследуемого влияния, позволит исключить подобные негативные события у потребителей.

Целью диссертационного исследования является – разработка перспективных осветительных и сигнальных приборов на основе светодиодов, которые будут оказывать минимальное влияние на качество электрической энергии в питаемой сети.

Для достижения поставленной цели в магистерской работе планируется решить следующие задачи:

1. Проанализировать существующие системы освещения на базе светодиодных светильников;
2. Проанализировать влияние существующих энергоэффективных систем освещения на базе светодиодных ламп на показатели качества электрической энергии;
3. Выбрать метод подавления гармоник светодиодных светильников.

4. Разработать для объекта исследования перспективную систему освещения на базе СД светильников.

Основные положения, выносимые на защиту.

Перспективные системы освещения на базе светодиодных светильников.

Новизна магистерской диссертации.

Разработана перспективная система освещения на базе светодиодных светильников для объекта исследования.

По теме диссертации опубликовано 3 научные статьи [13, 14, 15, 16].

1. Котов В.К., Пульцин Е.Е.. Влияние энергоэффективных систем освещения на показатели качества электрической энергии. // Электронный сборник студенческих работ всероссийской научно-практической междисциплинарной конференции «Молодежь. Наука. Общество». Тольятти. 2018., с.689-690.

2. Пульцин Е. Е., Котов В. К., Неборак А. В. Освещение складских помещений// Электронный сборник студенческих работ всероссийской научно-практической междисциплинарной конференции «Молодежь. Наука. Общество». Тольятти. 2018. с.705.

3. Влияние энергоэффективных систем освещения на показатели качества электрической энергии и мероприятия по повышению энергоэффективности данных систем / Котов В.К. // V Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов. //Электронный сборник. Тольятти 2019. с 96-98.

Структура и объём работы.

Структура: введение, 3 раздела, заключение, список используемой литературы и используемых источников, включающий 41 наименование.

Объем: 70 страниц машинописного текста.

1 Энергоэффективные системы освещения

Исходя из среднестатистической структуры потребления предприятий и учреждений, на систему освещения приходится в среднем 19-20 % общего объема потребления электроэнергии [7]. Так, например, в офисных зданиях тратится порядка 30-40% от всего объема потребляемой в них электроэнергии, а расход электричества в общественных зданиях на такие нужды составляет больше половины [8]. Потребление электроэнергии на крупных предприятиях достигает значений в размере 18-20% [9].

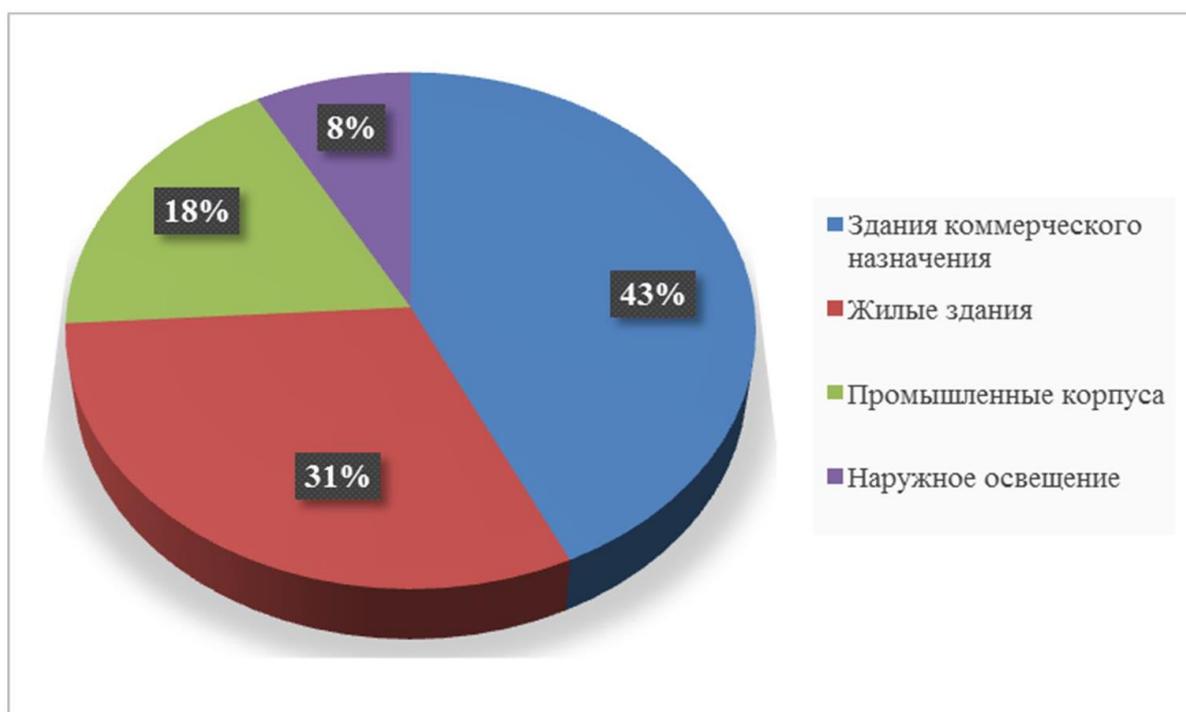


Рисунок 1.1 - Среднестатистические данные по затратам электроэнергии на систему освещения

Исходя из анализа объема потребления электроэнергии, расходуемой на цели освещения в разных секторах, наиболее интересным и наиболее значимым является сектор общественных и административных зданий. В настоящее время в таких зданиях, как правило, почти вся электроэнергия, идущая на освещение, расходуется недостаточно эффективно - используются устаревшие неэкономичные источники света и светильники, не уделяется

должного внимания выбору систем освещения, размещению светильников, вопросам регулирования и эксплуатации осветительной установки (ОУ). К тому же в общественных зданиях отсутствует персональная заинтересованность в экономии электроэнергии: пользователи могут забывать выключать ОУ в конце рабочего дня, а также в редко используемых помещениях при отсутствии в них людей. Применение энергосберегающих технологий может позволить сэкономить значительную долю ЭЭ.

В настоящее время в общем управлении общественных зданий могут использоваться такие источники света (далее – ИС): люминесцентные лампы (далее - ЛЛ); компактные люминесцентные лампы (далее - КЛЛ); светодиодные ИС (далее - СД) [11].

При определении источника света главными факторами являются: мощность, светоотдача и срок службы, также важна цветопередача и экономичность. В таблице 1.1 приведены основные характеристики источников света.

Таблица 1.1 – Основные характеристики источников света.

Тип источников света	Светоотдача (лм/Вт)	Срок службы	Средняя мощность, Вт
Лампы накаливания	13,8	1000 часов	20-60
Газоразрядная лампа	83	10000-50000 часов	100
Светодиодная лампа	120	30000-50000 часов	30

Световая отдача ЛЛ составляет 50—104 лм/Вт [12], что намного выше, чем у ламп накаливания (далее - ЛН). Срок службы ЛЛ 10000-50000 ч. Все разрядные ИС не могут напрямую подключаться к питающей сети, они могут подключаться только с помощью пускорегулирующего аппарата (далее - ПРА), поэтому большинство характеристик всех разрядных ИС, в том числе и ЛЛ, зависят от параметров и характеристик ПРА. В качестве балластов

используются дроссели, в которых потери мощности составляют от 10 до 100% от мощности лампы. По энергоэффективности за рубежом балласт для ЛЛ делят на три класса: D - с «нормальными потерями» (для ламп мощностью 18Вт - до 30%, 36 Вт - 25%), класс C - с «пониженными потерями» (25%, 20%, 15%), класс B - с «особо низкими потерями» (20%, 15%, 12%) [14].

В Российском ГОСТ 19680 [15] нет деления дросселей на классы и практически все российские дроссели относятся к классу D. Многие недостатки комплекта «Лампа+ПРА» могут устраняться при использовании ЭПРА. Принципиальное отличие электронных схем включения ЛЛ от стартерно-дроссельных заключается в том, что лампы в таких схемах питаются током высокой частоты. Из-за особенностей высокочастотного разряда увеличивается световая отдача ламп, а глубина пульсаций уменьшается примерно до 5% [14]. ЭПРА сочетают в себе функций зажигания ламп, ограничение рабочего тока и коррекция коэффициента мощности. Расширяется возможность регулирования светового потока ламп.

На сегодняшний день наиболее перспективными ИС являются светодиоды. Несмотря на то, что массовое производство СД началось более 40 лет назад, использоваться непосредственно для освещения, а не для индикации и подсветки, они стали относительно недавно. Это связано с несколькими факторами:

1. Быстрое развитие и доступность светодиодных технологий для систем освещения во втором десятилетии 21 века. В связи с тем, что стоимость светодиодов снижается, а рост тарифов на электроэнергию не прекращается, период окупаемости после внедрения систем освещения на базе светодиодных светильников, снижается. Что делает переход на системы освещения со светильниками LED экономически целесообразным.

2. Компании производители научились делать более мощные светодиоды, что расширило сферу их применения. При этом светодиодные

светильники улучшают цветовое восприятие, делают освещаемый объект более четким.



Рисунок 1.2 – Цветопередача газоразрядных ламп и СД светильников

3. Высокий срок службы светодиодов, от 45000 до 100000 часов при правильной эксплуатации, позволяет снизить затраты на обслуживание систем освещения со светодиодными светильниками.

Также светодиодные (LED) светильники обладают множеством преимуществ по сравнению с газоразрядными лампами:

- низкая потребляемая мощность с высокой световой отдачей;
- светодиоды не содержат токсичных веществ;
- мгновенное включение;
- возможность регулирования яркости, и т.д.



Рисунок 1.3 - Сравнение потребляемой мощности газоразрядных ламп со LED лампами обладающими одинаковым световым потоком

Как и любой другой источник искусственного освещения LED лампы имеют недостатки, которые необходимо рассмотреть подробнее.

Для начала рассмотрим экономическую эффективность СД светильника и что из себя представляет светодиод.

1.1 Экономическая эффективности светодиодного светильника

В качестве примера рассмотрим оценку реализации мероприятий по внедрению энергоэффективной системы освещения на базе светодиодных светильников на одном из промышленных предприятий Приволжского Федерального округа.

Представленный расчёт показывает экономию средств за счет сокращения потребления электроэнергии при использовании СД светильников в качестве альтернативы светильникам типа ДНаТ. Потребляемая мощность светильников типа ДНаТ -250 составляет 250 Вт. Потребляемая мощность СД светильника составляет 75 Вт.

Таблица 1.1 – Сопоставление параметров светильников

Наименование светильника	Светодиодный светильник 100 Вт	Светильник ДРЛ-250
Потребляемая мощность	Max 75 Вт	Min 300 Вт
Срок службы	Более 50 000 ч, с незначительной деградацией	Не более 10 000 ч, с существенным снижением светоотдачи к концу срока службы
Режим работы	12 часов/сутки	
Экономия электроэнергии	$(0,3 \text{ кВт} - 0,1 \text{ кВт}) * 12 \text{ часов} * 365 \text{ дней} = 876,0 \text{ кВт} * \text{ч/год}$ на каждый светильник.	

Приведенная оценка пессимистическим расчетом, т.к. в реальности ДРЛ светильники в эксплуатации требуют дополнительных затрат, например дорогая и постоянная работа по замене перегоревших ламп. Кроме того, приведённый расчёт не учитывает удорожания тарифа на электроэнергию в среднем на 10% ежегодно. Светодиодные светильники используют по назначению 98% светового потока, в то время как светильник с лампами типа ДРЛ и ДНаТ около 60%, т.к. отражатели, используемые в подобных светильниках с лампами и используемые блоки питания уменьшают световой поток в среднем на 40%. Поэтому для равнозначной замены светильника с ДРЛ и световым потоком 12000Lm полной мощностью 280-320Вт потребуется светодиодный всего лишь с 100Вт со световым потоком 12000Lm.

Экономический эффект достигается за счет:

- снижения потребления электроэнергии;
- увеличения срока службы;
- снижения затрат на эксплуатацию (светодиодные светильники безопасны и после выхода из строя подлежат простой утилизации, в то время как люминесцентные лампы содержат пары ртути и при выходе из строя подлежат специальной утилизации, требующей определённых затрат).

Одним из самых перспективных направлений в области энергосбережения является энергоэффективные системы освещения на базе

СД светильников с использованием интеллектуальной системы управления освещением (далее – ИСУО).

Применение интеллектуальных систем освещения позволяет повысить энергоэффективность системы освещения со светодиодными светильниками до 40-80% за счет применения расписаний диммирования, пофазного отключения, управления уровнем освещения в реальном времени, динамического включения по сигналу датчика, а срочные уведомления о неполадках на линии помогают сократить затраты на обслуживание и поддерживать бесперебойную работу системы освещения.

Интеллектуальная система управления освещением устанавливается (рисунок 1.4) со следующим оборудованием:

- Модуль управления и диагностики освещения;
- Модуль PLC;
- Датчики движения/датчик освещенности;
- Светодиодные светильники;
- При необходимости автоматизированное рабочее место

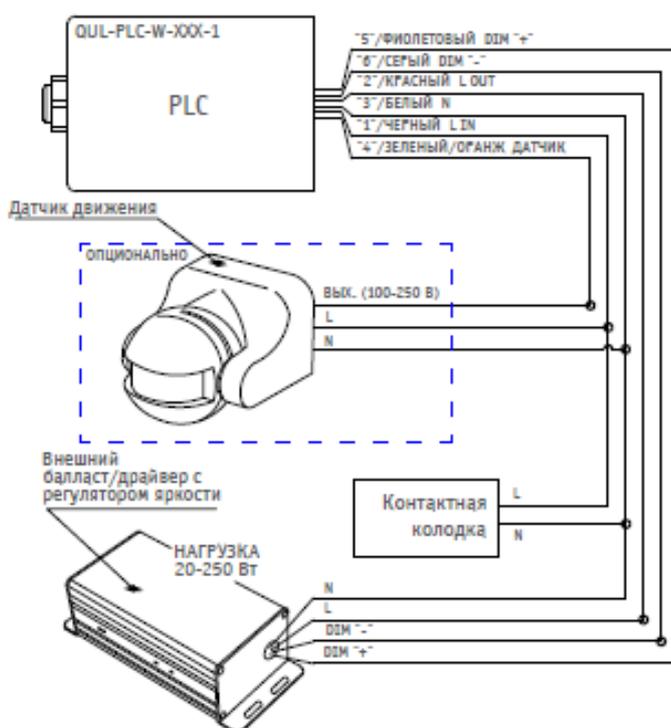


Рисунок 1.4 – Схема подключения интеллектуальной системы освещения

Рассмотрим, что из себя представляет светодиодный светильник.

1.2 Светодиодные лампы и способы получения белого цвета

Светодиодные лампы представляют собой полупроводниковые осветительные устройства, то есть полупроводник излучает свет в отличие от люминесцентных ламп, где подается электрический ток, а газ внутри трубки создает коротковолновый ультрафиолетовый (УФ) свет. Ультрафиолетовый свет превращается в видимый свет с помощью люминофорного покрытия внутри трубки. Светодиоды представляют собой p-n-переходные диоды, которые излучают свет при подаче соответствующего напряжения.

Свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в области p-n- перехода, то есть контакта двух полупроводников с разными типами проводимости. Для большинства полупроводниковых диодов свечение - просто «побочный эффект», снижающий КПД. Для светодиодов же излучательная рекомбинация - физическая основа их работы.

Чтобы создать p-n-переход, приконтактные слои полупроводникового кристалла легируют разными примесями: по одну сторону акцепторными (p-область), по другую — донорными (n-область) (рисунок 1.5).

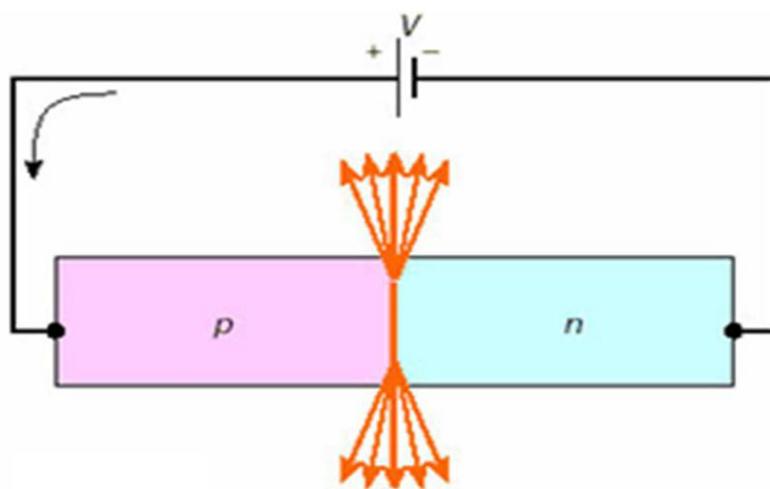


Рисунок 1.5 – Схема и энергетическая диаграмма p-n-перехода

Цвет излучения светодиода зависит от ширины запрещённой зоны, в которой рекомбинируют электроны и дырки, то есть от материала

полупроводника, и от легирующих примесей. Чем «синее» светодиод (то есть, чем меньше длина волны максимума его излучения), тем выше энергия квантов, а значит, тем больше ширина запрещённой зоны [19].

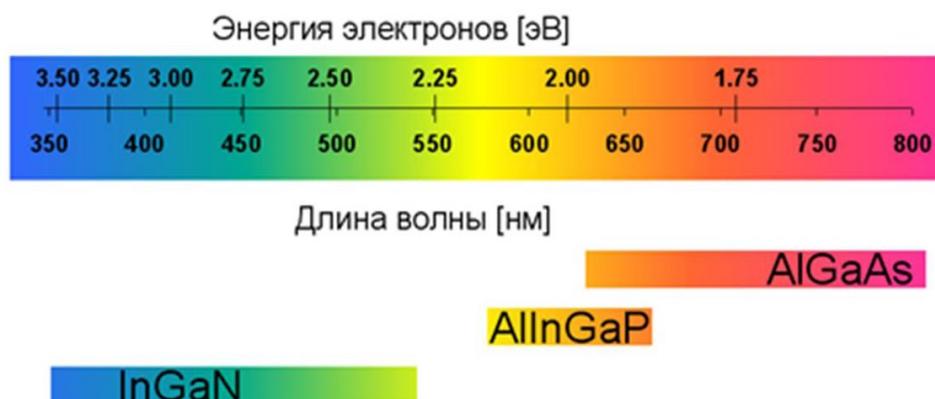


Рисунок 1.7 - Схематическое изображение «охвата» видимого диапазона современными полупроводниковыми излучающими материалами

Форма спектров СД зависит от множества факторов, таких как ширина запрещённой зоны, распределения электронных и дырочных состояний вблизи дна зоны проводимости, особенностей квантовых ям и пр. [20].

Светодиод может состоять из нескольких чипов с различными цветами свечения или одного чипа с несколькими p-n-переходами, излучающими в различных спектральных полосах. Он также может содержать управляющую микросхему, позволяющую подбирать цвет свечения и его интенсивность.

«СД состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы» [29]. Конструкция мощного светодиода серии Luxeon, выпускаемой компанией Lumileds, в качестве примера схематически изображена на рисунке 1.6.

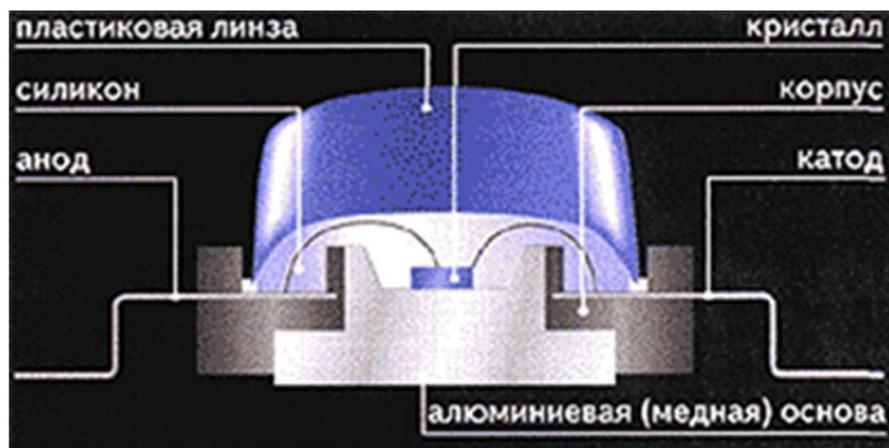


Рисунок 1.6 – Конструкция светодиода

Светоизлучающий кристалл закреплён на теплоотводящей подложке (основе). При приложении прямого напряжения к р-п-переходу кристалла через катод и анод в нём генерируется излучение. Часть его не выходит из кристалла, так как в нём проходит фотолуминесценция, а другая, большая часть - через линзу выходит наружу. Кристалл, подложка и внутренние электроды залиты прозрачным полимером с максимально высоким коэффициентом преломления, образующим корпус СД. Купол корпуса выполняет функции линзы или рассеивателя, в зависимости от требуемой кривой силы света (КСС) СД.

Наиболее важные перспективы применений светодиодов связаны с их использованием в учреждениях и административных зданий в системе общего освещения. Основой для этих применений являются светодиоды белого свечения (белые СД). Существует 3 способа создания белых СД, каждый из них имеет свои достоинства и недостатки (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Способы создания белого излучения

Один из них - смешение излучения трёх люминофоров (красного, зелёного и голубого), возбуждаемых ультрафиолетовым светодиодом. Этот способ использует принципы, разработанные применительно к люминесцентным лампам.

«Второй способ - смешение голубого излучения СД с излучением либо желто-зелёного люминофора, либо зелёного и красного люминофоров, возбуждаемых этим голубым излучением. Этот способ прост и в настоящее время наиболее экономичен» [21]. На рисунке 1.9 представлен спектр белого люминофорного светодиода, полученного вторым способом. Первый, ярко выраженный пик в голубой области обусловлен излучением кристалла, второй, более широкий – излучением люминофора.

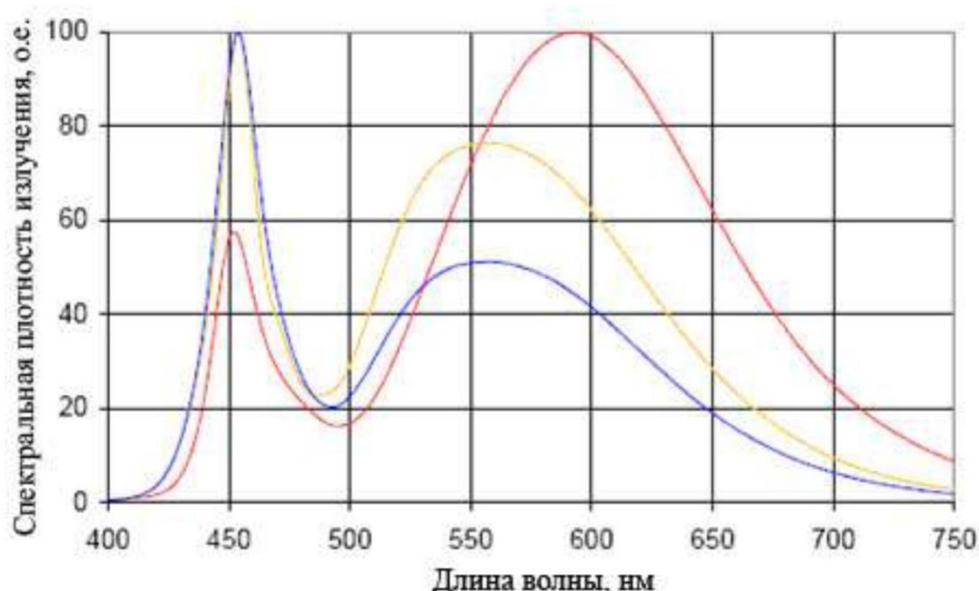


Рисунок 1.9 – Спектральная плотность излучения белых люминофоров

«Третий способ - смешение излучения СД трёх цветов. Метод RGB дает возможность создавать белый свет необходимого оттенка, позволяющего подчеркивать освещаемые цвета. Однако для создания белого цвета RGB требуется сравнительно сложное оборудование, так как в одном источнике необходимо использовать сразу три светодиода. При этом получаемый свет неестественно передает пастельные тона, что является

основным следствием низкого индекса цветопередачи белого света, полученного методом RGB» [22].

При использовании ОП на базе белых СД нужно уделять внимание цветовым характеристикам, так как существует целый ряд факторов, влияющих на изменение данных характеристик.

Светодиодные лампы имеют много преимуществ, например длительный срок службы, отсутствие токсичных компонентов и высокая энергоэффективность. Однако светодиоды работают с использованием напряжения постоянного тока, поэтому для подключения источника переменного тока к постоянному току требуется электронное соединительное устройство.

1.3 Конструкция светодиодной лампы

Технология светодиодного освещения является наиболее сложной из технологий освещения, и может также иметь самые сложные проблемы интеграции, связанные с системой электропитания. Светодиодное освещение не может быть просто лампой. Это система освещения, которая содержит как электронную схему управления, предназначенную для приведения входного напряжения до требуемого уровня, так и лампу, которая может состоять из одного или нескольких светодиодов для увеличения светового потока или для создания белого цвета (см. раздел 1.3).

В некоторых случаях электронные схемы управления встроены в светодиодную лампу, а в других случаях схема управления является отдельной. Учитывая тот факт, что светодиодное освещение - это больше, чем просто лампа, термин «система светодиодного освещения» используется в данной работе для описания комбинации электронного драйвера и светодиодной лампы.

На рисунке 1.10а показан ряд светодиодных ламп. На рисунке 1.72б показан пример схемы драйвера светодиодов 12 В, 12 Вт. На рисунке 1.8 показана фотография светодиодной лампы, которая содержит встроенную

схему регулирования напряжения, которая демонстрирует, что как драйверы, так и лампы могут быть сложными. На этом рисунке также показаны три светодиода, соединенных последовательно, которые составляют лампу.



а)



б)

а) светодиодные лампы; б) схема драйвера СД светильника

Рисунок 1.10 – LED лампы и схема драйвера

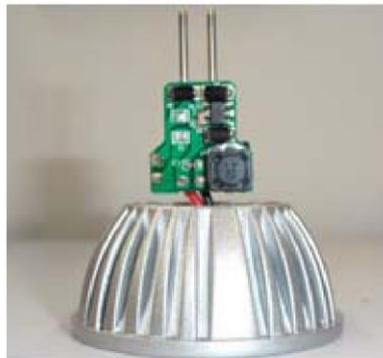
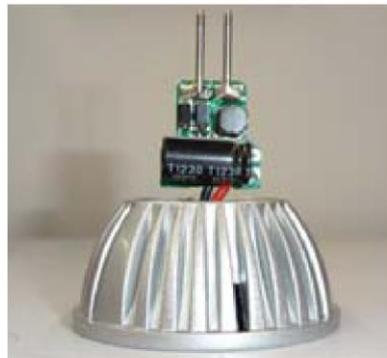


Рисунок 1.11 – Светодиодная лампа

Все светодиодное освещение требует преобразования переменного напряжения в постоянное напряжение для работы. Как отмечено выше, это преобразование обычно выполняется электронной схемой. Как и в случае КЛЛ, компоненты в этих электронных цепях чувствительны к величине напряжения питания. Слишком высокие уровни напряжения могут привести к уменьшению срока службы электроники, связанной с системой

светодиодного освещения. Кроме того, в зависимости от характеристик электронного драйвера изменения напряжения питания в установившемся режиме могут привести к изменениям светотдачи для некоторых светодиодных систем освещения. Для тех систем, которые восприимчивы, увеличенная величина напряжения питания приведет к увеличению светотдачи и наоборот для уменьшения величины напряжения питания.

1.4 Источники питания СД ламп

Светодиодные источники питания (ИП) можно классифицировать по способу преобразования энергии на линейные и импульсные. «Линейный ИП представляют собой специализированную микросхему, которая обеспечивает стабилизированный ток на выходе, величина которого не зависит от напряжения на ней» [26]. Данные устройства отличаются простотой, малыми габаритами и низкой стоимостью. «Но несмотря на это, такие источники не нашли широкого применения в осветительных системах из-за достаточно низкой эффективности. Они в основном используются только для питания ярких светодиодов, например, в экранах, табло, для подсветки различных приборов» [26].

Большее распространение в осветительных приборах получили импульсные схемы питания. Импульсные схемы могут быть выполнены с гальванической развязкой и без неё. «К гальванически изолированным относят обратноходовые и полумостовые резонансные преобразователи. Первые применяются в устройствах невысокой мощности, вторые - в устройствах, работающих на мощностях более 100 Вт» [26]. Данные источники очень просты в компоновке и предоставляют широкие возможности использования светодиодного освещения, так как позволят подключить СД светильники к сети 220 В, что дает существенные преимущества по сравнению с СД светильниками с линейным источником питания.

«Импульсный ИП преобразует электрический переменный ток сети в постоянный определенного, требуемого для нормальной работы диодов, значения» [26]. Простой импульсный источник питания, с помощью которого можно получить постоянное напряжение от переменной сети, включает в себя мостовой выпрямитель и емкостной накопительный конденсатор (рисунок 1.12).

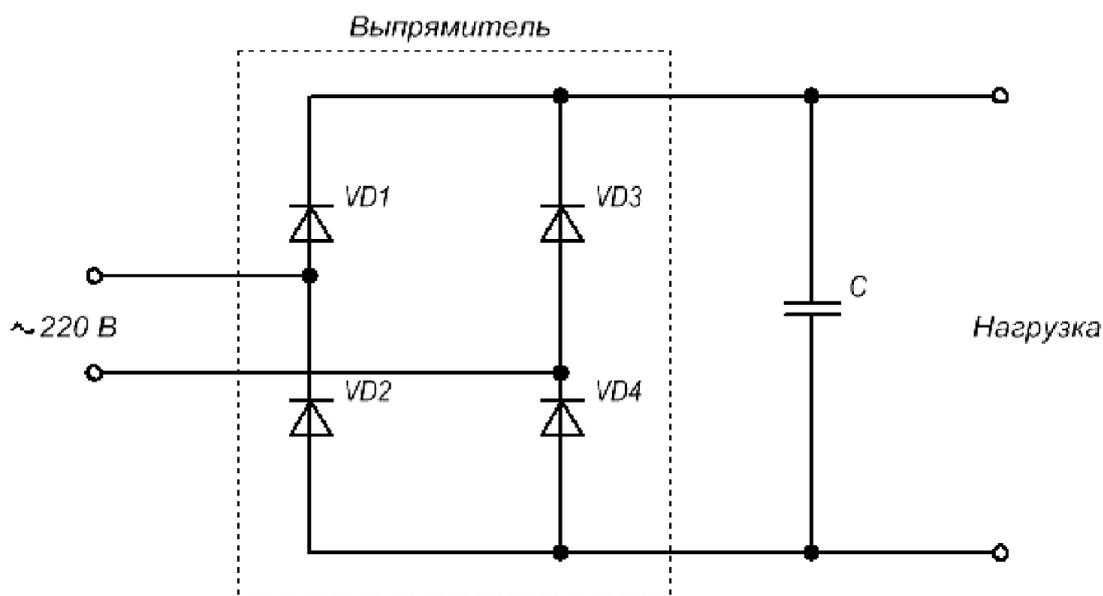


Рисунок 1.12 - Импульсный источник питания СД светильника

«Такой ИП потребляет энергию от сети только в те моменты времени, когда сетевое напряжение имеет значения, близкие к максимальному» [26]. «В остальное время источник не потребляет мощность из сети, а нагрузка получает энергию от выходного накопительного конденсатора. В результате потребляемый электрический ток имеет несинусоидальную форму с высоким содержанием гармоник, что приводит к возникновению дополнительных помех, «загрязнению» сети, увеличению энергопотребления и потерь энергии в электросетях. Такие источники имеют низкий коэффициент мощности λ , который не превышает значения 0,5» [26].

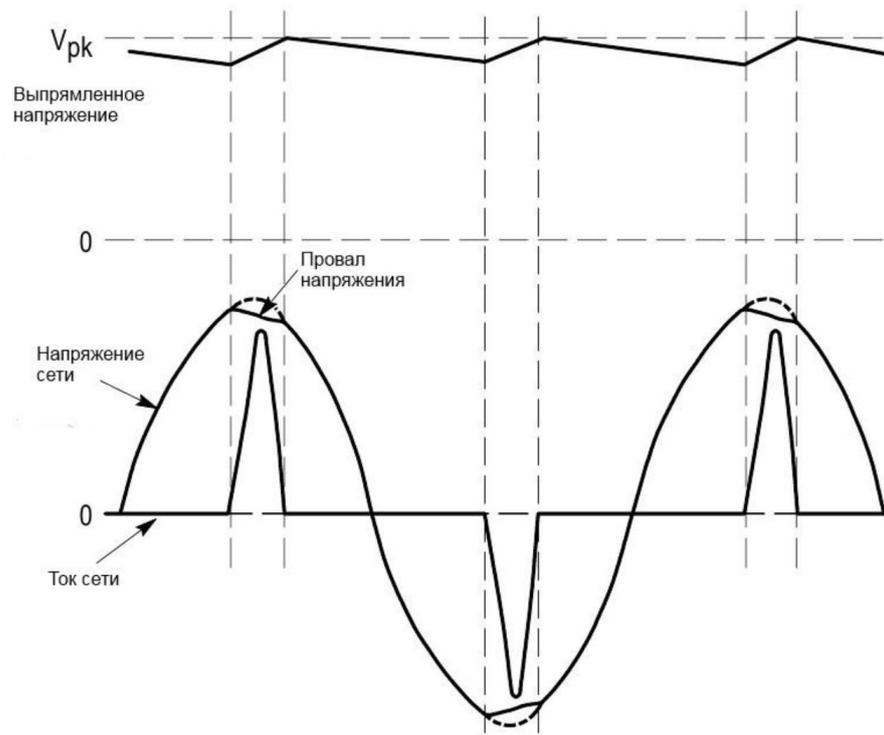


Рисунок 1.13 – Форма сетевого тока, напряжения и выпрямленного напряжения

«Коэффициент мощности используется для оценки эффективности передачи электрической энергии от сетевого источника в нагрузку» [26]. Он определяется как отношение активной мощности $P_{\text{вх}}$ к полной $S_{\text{вх}}$ и может принимать значения от нуля до единицы.

Коэффициент мощности λ можно найти по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{P_{\text{вх}}}{S_{\text{вх}}} \quad (1.1)$$

«Коэффициент мощности принимает единичное значение, когда активная мощность совпадает с полной. Обычно, значение единицы характерно для чисто активной нагрузки, в остальных случаях коэффициент мощности меньше единицы. Превышение полной мощности над активной возможно из-за активно-реактивного характера нагрузки, либо из-за её нелинейности» [26]. Другими словами, значение коэффициента мощности

зависит от гармонических и нелинейных искажений, которые создает импульсный источник в сети. Чем выше эти искажения, тем меньше значение коэффициента мощности.

«Гармонические искажения представляют собой сдвиг фаз между потребляемым током и сетевым напряжением. Причиной сдвига фаз или отставания тока (напряжения) от напряжения (тока) является электрическая нагрузка, работающая с магнитным полем» [26]. В течение некоторого времени электрический ток и напряжение имеют противоположные знаки. А это приводит к тому, что возникает отрицательная энергия, которая возвращается обратно в сеть. «Когда и ток, и напряжение будут снова иметь значение одной полярности, произойдет расход такого же количества энергии на создание магнитного поля. Эти колебания энергии электромагнитного поля в цепях переменного тока являются реактивной мощностью» [26]. Такая мощность не совершает полезной работы, но тем не менее она потребляется от источника, тем самым увеличивая полную мощность потребления, расход электрической энергии.

«Для повышения коэффициента мощности простого импульсного источника питания необходимо ввести в него специальное устройство, называемое корректором коэффициента мощности (ККМ). Данное устройство позволит приблизить фазу и форму потребляемого тока к фазе и форме сетевого напряжения. Необходимость в данном устройстве регламентируется требованиями по электромагнитной совместимости» [26].

Поэтому импульсные ИП можно ещё классифицировать по наличию и виду коррекции коэффициента мощности.

По виду коррекции импульсные источники бывают с активным и пассивным ККМ. Источники с активным ККМ могут состоять из одного или нескольких преобразователей.

Импульсный ИП с активной коррекцией может быть выполнен по схеме однокаскадного или многокаскадного преобразователя. У однокаскадных устройств одна микросхема принимает все обратные связи, а

также информацию о форме входного напряжения, и формирует управляющий сигнал для ключевого транзистора. У таких источников есть существенный недостаток: изменения параметров нагрузки, входного напряжения, воздействия различных дестабилизирующих факторов оказывают влияние на коррекцию коэффициента мощности, тем самым коэффициент мощности понижается [15].

От такого недостатка избавлены двухкаскадные решения (рисунок 1.14). «У таких устройств коррекция коэффициента мощности выполняется в отдельном блоке, который принимает только информацию о форме входного напряжения. Все остальные обратные связи принимает другой блок, который не оказывает влияние на коэффициент мощности. Но стоит отметить, что такие решения более дорогие и энергетически неэффективные» [26].

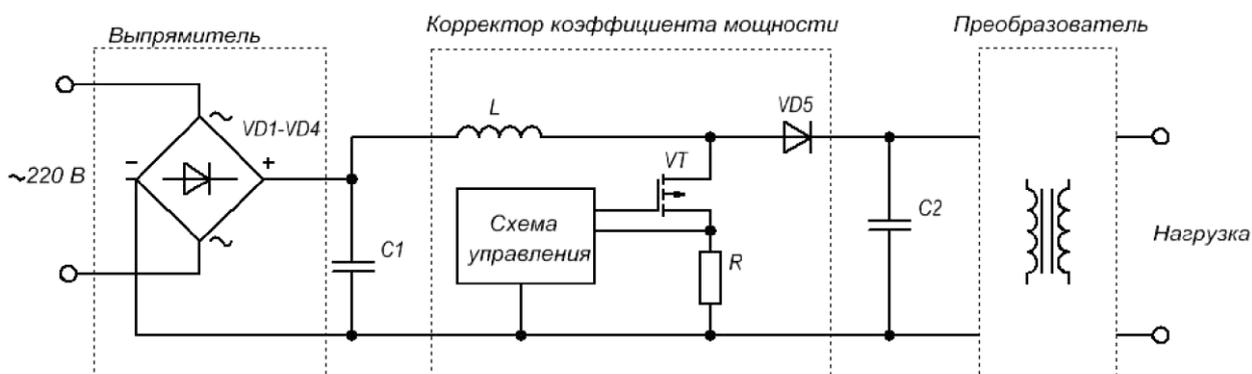


Рисунок 1.14 – Двух каскадная схема источника питания СД светильника

В некоторых публикациях [16] можно найти схемы, в которых функции каскада с ККМ и последующего преобразователя объединены в одном силовом ключе, как показано на рисунке 1.15.

«Здесь понижающее-повышающий преобразователь работает в качестве корректора коэффициента мощности. Обратногоходовой преобразователь работает в качестве регулятора постоянного тока для передачи энергии от конденсатора С3 в нагрузку. Этот преобразователь регулирует выходное напряжение и ток до заданных значений» [26]. Недостаток такой схемы

заключается в наличии повышенных токов и напряжений на основных силовых элементах схемы, а также в высоком значении пульсаций на выходе.

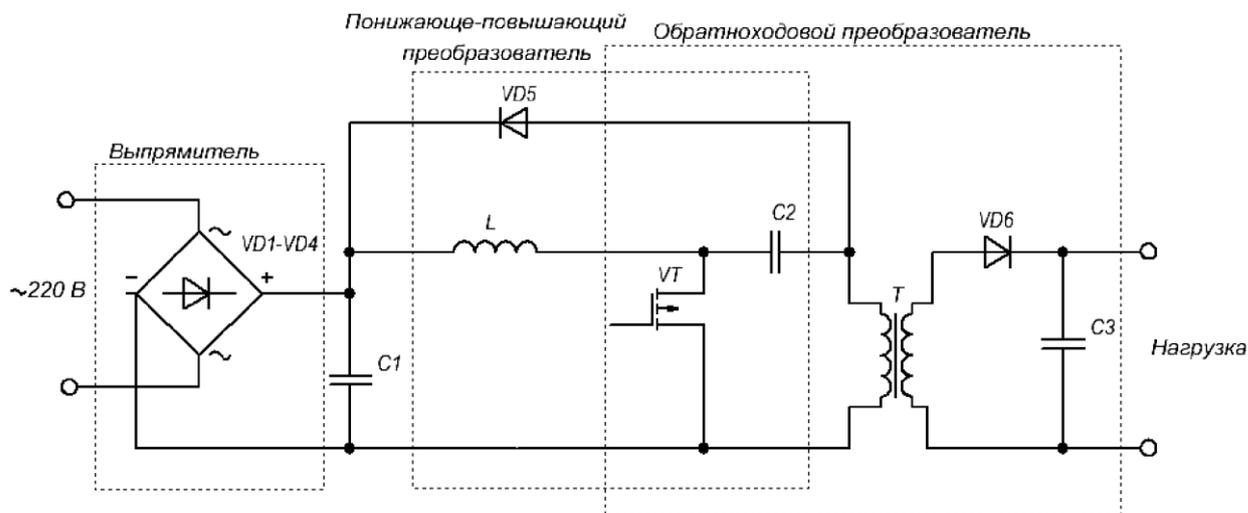


Рисунок 1.15 – Схема с несколькими преобразователями

На основании зарубежной и отечественной литературы современные источники обладают коэффициентом мощности в пределах 0,95-0,99 [20-25].

Таким образом, СД светильники ведут себя как нелинейные нагрузки из-за электронного устройства подключения, в отличие от обычных ламп ЛЛ. Нелинейные нагрузки создают высокочастотные гармоники тока, которые могут привести к ухудшению качества электроэнергии в распределительной сети. Гармоники увеличивают потери мощности в кабелях и трансформаторах. Кроме того, гармоники могут вызвать мерцание, дисбаланс и насыщение сердечника трансформаторов и термическое старение асинхронных двигателей [4]. Высокочастотное излучение светодиодных ламп в диапазоне 2 ... 150 кГц также может создавать проблемы для связи по линии электропередачи. Гармоники диодного выпрямителя могут быть ограничены с помощью схемы ККМ. Поэтому полученные гармоники сильно зависят от типа и качества электронного соединительного устройства, используемого со светодиодной подсветкой.

Выводы по главе первой

В первой главе подробно рассмотрена конструкция светодиодной лампы и светодиодных светильников. Рассмотрены конструктивные решения светодиодной лампы для создания белого светового потока, а также применяемые источники питания.

Наглядно рассмотрен вопрос влияния конструктивных особенностей источника питания СД светильников на искажения в напряжении и тока в питающей сети.

По результатам первой главы можно сделать следующий вывод:

СД светильники ведут себя как нелинейные нагрузки из-за электронного устройства подключения, в отличие от обычных ламп ЛЛ, и генерируют высокочастотные гармоники тока, которые могут привести к ухудшению качества электроэнергии в распределительной сети. Для снижения влияния гармоники диодного выпрямителя необходимо применять схемы ККМ. Поэтому полученные гармоники сильно зависят от типа и качества электронного соединительного устройства, используемого со светодиодной подсветкой.

В дальнейшем необходимо определить степень влияния количества СД светильников на качество электрической энергии. Определить мероприятия по снижению влияния, рассчитать экономическую эффективность перспективных осветительных приборов на базе СД с применением интеллектуальной системой управления освещением.

2 Влияние светодиодных светильников на качество электрической энергии

Светодиодные лампы исходя из своей конструкции, относятся к полупроводниковым преобразователям электроэнергии, имеющих нелинейные вольтамперные характеристики (далее – ВАХ). В силу своего принципа действия полупроводниковые преобразователи электроэнергии отдают в питающую сеть гармонические составляющие тока и напряжения.

Наличие такой нагрузки приводит к искажению формы кривой тока и напряжения (рисунок 2.1), и наличию высокого уровня гармонических составляющих по току и напряжению (рисунок 2).

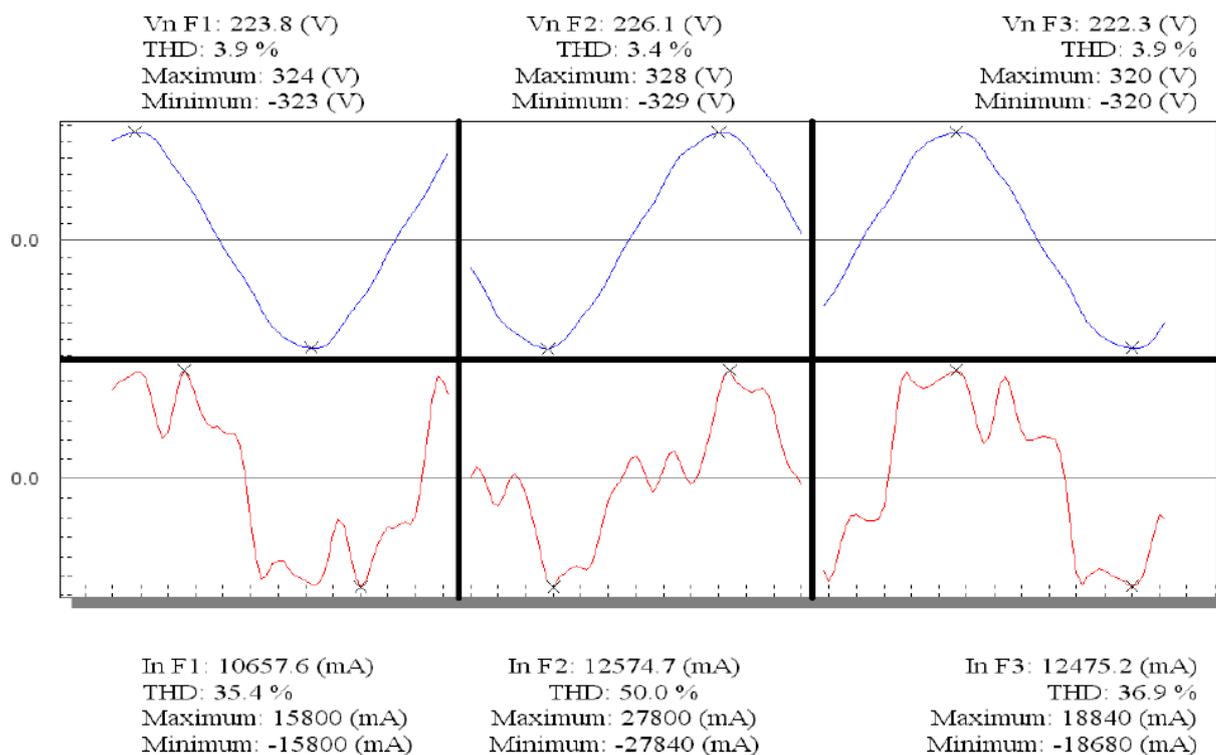


Рисунок 2.1 – Волновая форма напряжения и тока в сети с полупроводниковым преобразователем электроэнергии

Высокий уровень искажений синусоидальности при работе преобразовательных электроустановок, несимметрия фазных токов и напряжений, отклонение напряжений от номинальных значений и оказывают

влияние на режим работы электроприемников, в том числе и на осветительное оборудование [5].

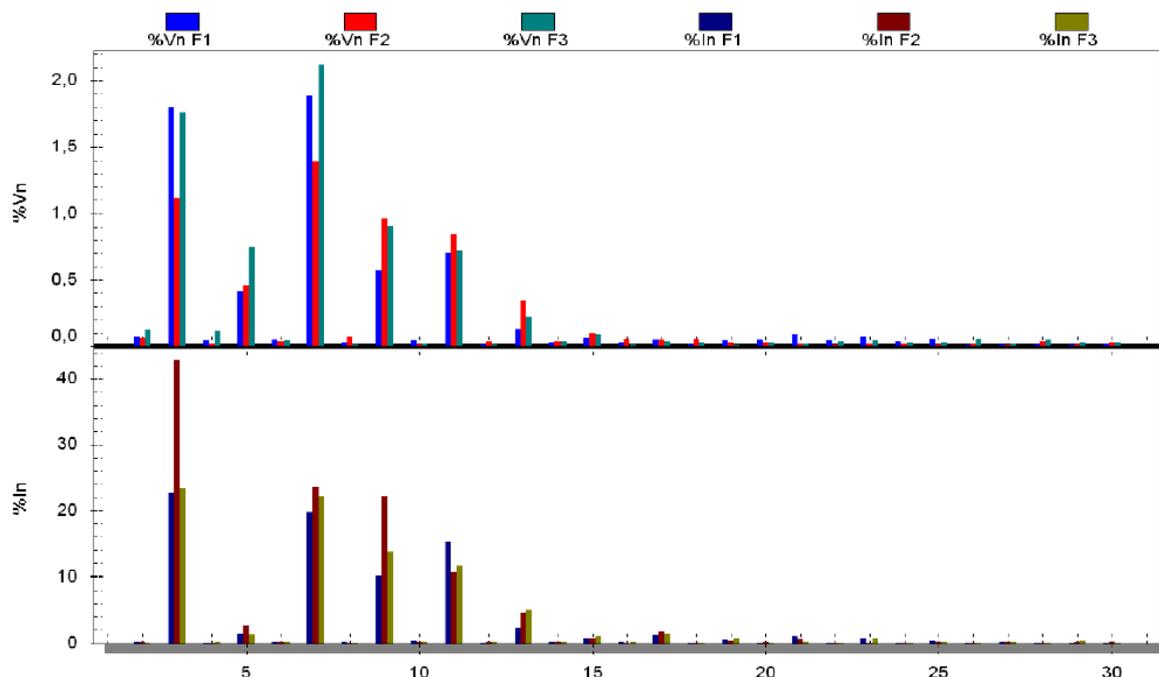


Рисунок 2.2 – Состав высших гармоник в сети с полупроводниковым преобразователем электроэнергии

Применительно к осветительному оборудованию это влияние может выражаться:

- в нагреве и дополнительных потерях в конденсаторах, магнитных частях трансформаторов;
- искажении формы кривой питающего напряжения;
- ухудшении работы электрических и электронных элементов;
- снижении сроков службы.

В основном эти влияния отражаются только на сроках служб осветительного оборудования опосредованно, например, через перегрев электронных элементов дросселей, драйверов т. к. все это может приводить к деградации структуры светодиода и, следовательно, к преждевременному выходу из его из строя. Поэтому обеспечение продолжительной работы СД светильника, в соответствии с заводским сроком службы является актуальной задачей.

«Таким образом, массовое внедрение перспективных энергоэффективных систем освещения на базе светодиодных ламп, может существенно повлиять на показатели качества электрической энергии у потребителей, в особенности на несинусоидальность тока и напряжения, а самое главное, исходя из совокупности в местах преобладания такой нагрузки, вновь установленные энергоэффективные системы освещения, могут выйти из строя в первые годы эксплуатации из-за снижения качества электрической энергии, в связи с увеличением доли потребителей с нелинейной ВАХ» [16].

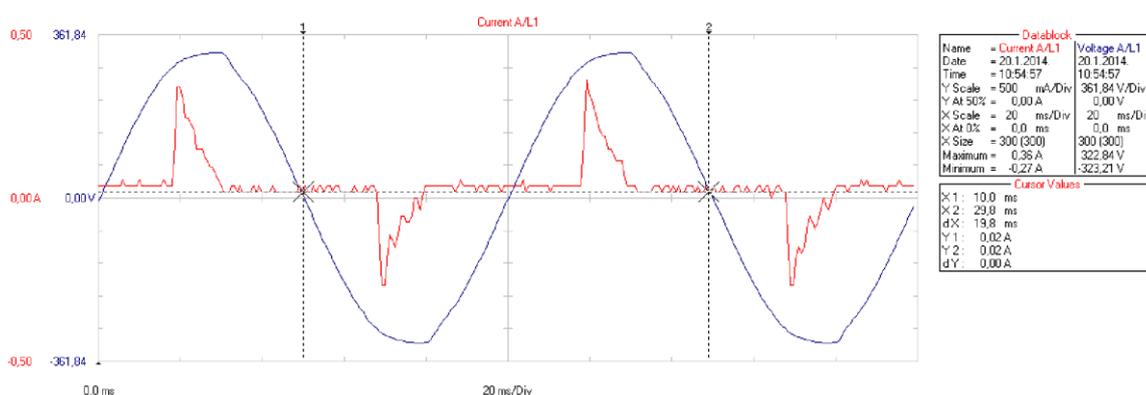


Рисунок 2.3 – Осциллограмма тока потребления и напряжения питающей сети СД светильника

Из рисунка 2.3 видно, что ток на преобразователе СД светильника имеет несинусоидальную функцию, т.е. сильно искажен. При этом если несинусоидальная функция отвечает условиям Дрихле [10], то данная функция может быть представлена гармоническим рядом Фурье. Ряд Фурье в тригонометрической форме имеет вид:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(n\omega_1 t)) \quad (2.1)$$

где $\omega_1 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)$ - угловая частота первой гармоники.

Коэффициент a_n определяется по формуле:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_1 t) dt \quad (2.2)$$

Коэффициент b_n определяется по формуле:

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_1 t) dt \quad (2.3)$$

В формуле (2.1) $\frac{a_0}{2}$ - постоянная составляющая, равная среднему значению функции $f(t)$ за период (T).

После объединения в правой части ($a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(n\omega_1 t)$) формулы (2.1) при условии для одинаковой частоты, выражение (2.1) примет следующий вид:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega_1 t + \psi_n) \quad (2.4)$$

где $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, $\psi_n = \arctg(a_n/b_n)$

«Совокупность гармонических составляющих несинусоидальной периодической функции называю дискретным частотным спектром. Совокупность амплитуд гармоник образует амплитудный спектр, а совокупность начальных фаз - фазовый спектр» [15]

Если несинусоидальная периодическая функция выражается формулой (2.4) ее действующее значение будет определяться:

$$F = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{(n)} A_n^2} \quad (2.5)$$

В соответствии с ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»

нелинейные искажения являются причиной отклонения формы потребляемого тока от формы сетевого напряжения и характеризуются коэффициентом искажения $K_{U(n)}$ (коэффициент несинусоидальности) [10], равный отношению действующих значений высших гармоник к действующему значению первой гармоники. Для тока коэффициент искажения будет определяться по формуле:

$$k_I = \frac{\sqrt{\sum_{k \neq 1} I_k^2}}{I_1} \quad (2.6)$$

Для напряжения будет определяться по формуле:

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{k \neq 1} U_k^2}}{U_1} \quad (2.7)$$

где k – порядковый номер гармоники,

U_k - действующее значение k -й гармоники.

Другой характеристикой несинусоидальности формы кривой служит коэффициент n – гармонической составляющей, которая определяется по формуле:

$$K_n = \frac{U_n}{U_1} 100\% \quad (2.8)$$

Коэффициент несинусоидальности формы кривой тока $K_{I(n)}$ и напряжения $K_{U(n)}$ определяется отношением::

$$K_{U(n)} = \frac{U(n)}{U_1} * 100, \quad (2.9)$$

$$K_{I(n)} = \frac{I(n)}{I_1} * 100. \quad (2.10)$$

где $U_{(n)}$, $I_{(n)}$ - действующие значения напряжения и тока n -гармоники

U_1 , I_1 - действующие значения напряжения и тока питающей сети.

2.1 Выбор приборного парка для оценки влияния светодиодного светильника на качество электрической энергии

Основным измерительным прибором при проведении энергетического обследования, позволяющий измерить коэффициент искажения синусоидальности тока (суммарный коэффициент гармонических составляющих тока), а также коэффициент n -ой гармонической составляющей тока (n от 2 до 40) является измеритель показателей качества электроэнергии.

На сегодняшний день существует довольно широкая линейка измерителей показателей качества электрической энергии (далее – ИПКЭ).

На российском рынке представлены ИПКЭ, как зарубежные производства FLUKE 434, так и российского РЕСУРС-UF-2 М(А).

Выбор ИПКЭ в данной работе рассматривается исходя из приборного парка имеющийся у организации специализирующейся на проведении энергетического обследования. Поэтому в качестве ИПКЭ для проведения исследования влияния количества светодиодных светильников был выбран FLUKE 434.

Комплектация данного измерительного прибора представляет из себя следующее:

1. Измерительный блок, с встроенной флэш-памятью позволяющий сохранять информацию измерений 120 дней;
2. Измерительные токовые клещи, причем в двух исполнениях 1000/5 и 200/5;
3. Измерительные «крокодилы», для измерения напряжения.
4. Блок питания.

Необходимо отметить, что данный измерительный прибор позволяет проводить измерения показателя качества электрической энергии в наиболее широком формате и очень часто применяется при проведении энергетических обследованиях промышленных предприятий, организация, административных и бытовых зданий.

Основными достоинством является, возможность непрерывного мониторинга показателей качества электроэнергии, широкий спектр проводимых измерений, большой объем памяти позволяющий проводить измерения длительного характера. Основным FLUKE 434 достоинство по сравнению с ИПКЭ РЕСУРС-UF-2 М(А) является высокая степень автономности прибора за счет наличия аккумуляторной батареи большой емкости. При этом РЕСУРС-UF-2 М(А) имеет стационарное исполнение, которое требует наличие источника питания переменного напряжения 230 В, что в свою очередь может привести к нарушению измерений в связи с исчезновением напряжения в питающей сети измерительного прибора РЕСУРС-UF-2 М(А).

Так FLUKE 43 позволяет проводить измерения искажения синусоидальности тока, а также коэффициент n-ой гармонической составляющей тока и широко используется при проведении энергетических обследованиях, то в качестве измерения и оценки влияния устанавливаемой энергоэффективной системы освещения на показатели качества электрической энергии в качестве ИПКЭ применялся FLUKE 434.

2.2 Проведение измерений влияния СД светильника на качество электрической энергии

Проведение инструментального исследования влияния количества светодиодных светильников на качество электрической энергии осуществлялось в офисном здании организации ООО «ЭКОЭНЕРГОСНАБ». Данная организация расположена в городе Тольятти, и основные её видом

экономической деятельности является проведение электромонтажных работ и энергообследований предприятий и учреждений.

Для измерений применялось устройство контроля параметров качества электрической энергии FLUKE 434, представляющее собой высокоточный измерительный прибор, соответствующий всем современным требованиям.

Схема подключения представлена на рисунке 2.4. Схема подключения была выполнена следующим образом:

- токовые клещи были подключены к питающей линии системы освещения состоящей из 12 СД светильников;

- напряжение замерялось с помощью присоединенных измерительных щупов «крокодилов» подключенных в ЩО непосредственно к жилам питающего провода;

Схема питания системы освещения была выполнена таким образом, чтобы была возможность менять количество включенных светильников, через индивидуальные выключатели СД светильников.



Рисунок 2.4 – Схема подключения FLUKE 434 к питающей сети СД светильников

По результатам проведенных измерений получили спектр кривых напряжения и тока в питающей сети СД светильников. Полученные результаты занесены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Значения ВАХ установленных СД светильников

№ п/п	Значение напряжения	Величина тока
1	40	0,145
2	50	0,2
3	60	0,28
4	75	0,22
5	90	0,19
6	100	0,18
7	140	0,13
8	180	0,1
9	210	0,095
10	230	0,09

По таблице 2.1 построим график.

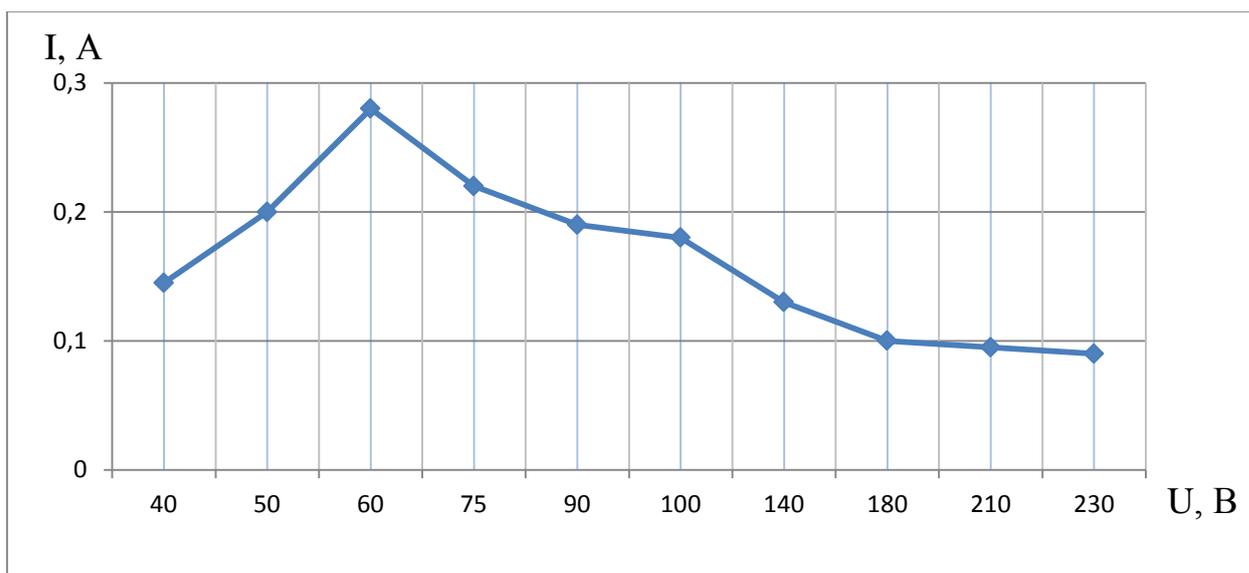


Рисунок 2.5 – ВАХ СД светильника

На основании спектра кривых напряжения и тока в питающей сети светильников, гармонические составляющие разложим в ряд Фурье и сведем в таблиц 2.2 – 2.3 и построим соответствующие графики.

Таблица 2.2 – Результаты измерений действующих значений U_n

Номер гармоники	Действующее значение n гармоники напряжения, В
3	0,0004510
5	0,0002150
7	0,0000176
9	0,0000452
11	0,0000038
13	0,0000000
15	0,0000041
17	0,0000007
19	0,0000000
21	0,0000031
23	0,0000012
25	0,0000001
27	0,0000006
29	0,0000002
31	0,0000001
33	0,0000000
35	0,0000001
37	0,0000001
39	0,0000000
41	0,0000000
43	0,0000000
45	0,0000000
47	0,0000000
49	0,0000001

Графики спектрального состава напряжения и тока для одного светильника приведены на рисунках 2.6 и 2.7 соответственно.

Приведем графики спектрального анализа на рисунке 2.6 и 2.7.

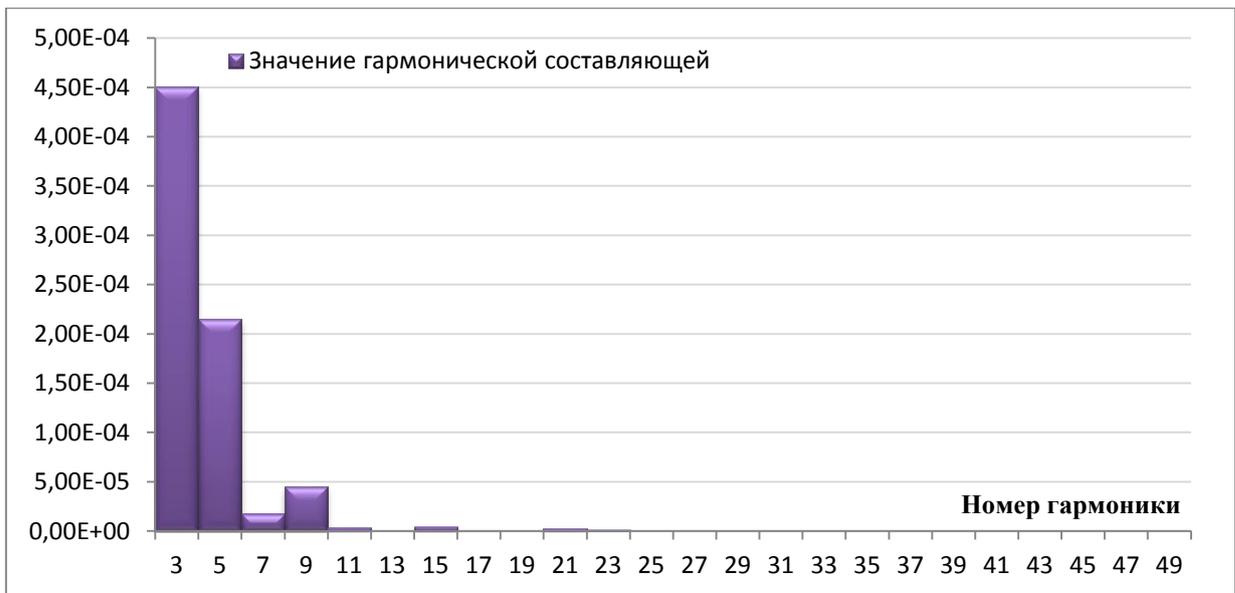


Рисунок 2.6 - Спектральный состав гармоник по напряжению в питающей сети на одном светильнике

Таблица 2.3 – – Результаты измерений действующих значений I_n

Номер гармоники	Действующее значение n гармоники тока, А
3	0,0052700
5	0,0029600
7	0,0001190
9	0,0015600
11	0,0000460
13	0,0000780
15	0,0003090
17	0,0000285
19	0,0000346
21	0,0004030
23	0,0007960
25	0,0003000
27	0,0001920
29	0,0009680
31	0,0004140

Продолжение таблицы 2.2

33	0,0004060
35	0,0000043
37	0,0003050
39	0,0002220
41	0,0000022
43	0,0000528
45	0,0000065
47	0,0001510
49	0,0006850



Рисунок 2.7 - Спектральный состав гармоник по току в питающей сети на одном светильнике

На основании полученных графиков можно сделать вывод, что для устанавливаемых светильников, значение нечетных гармоник в питающей цепи убывают в соответствии с номером гармоники, т.е. значения преобладают для третьей и пятой гармоник, а в дальнейшем с увеличением номера гармоники значения их, и как следствие, резко снижаются.

На основании полученных данных проанализируем влияние количества устанавливаемых светильников на изменения третьей и пятой гармоник напряжения и тока в питающей сети системы освещения.

Результаты приведем в графическом виде на рисунках 2.8 – 2.11.

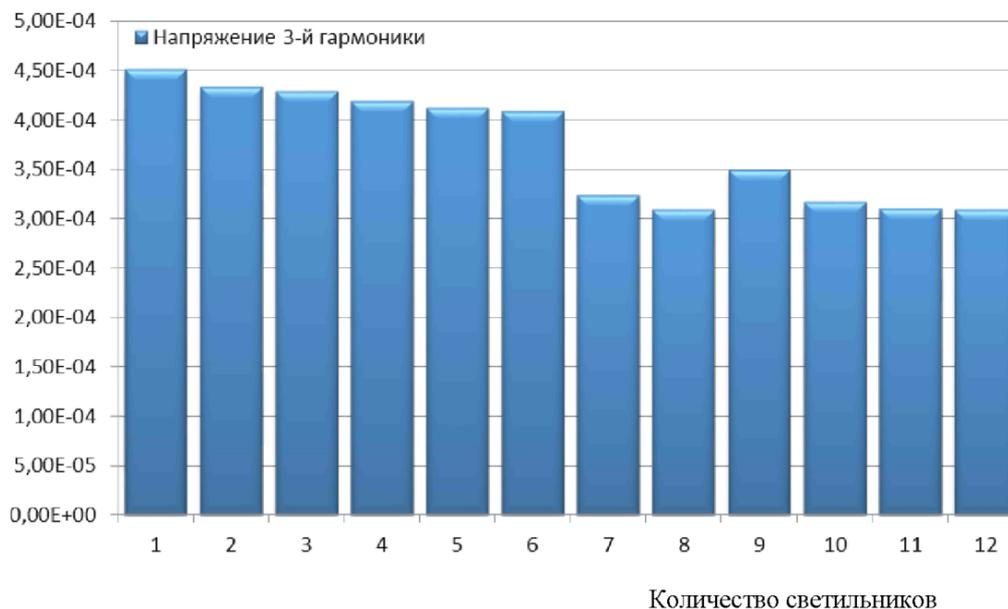


Рисунок 2.8 – Количественный состав третьей гармоники по напряжению в питающей сети в зависимости от количества устанавливаемых СД светильников

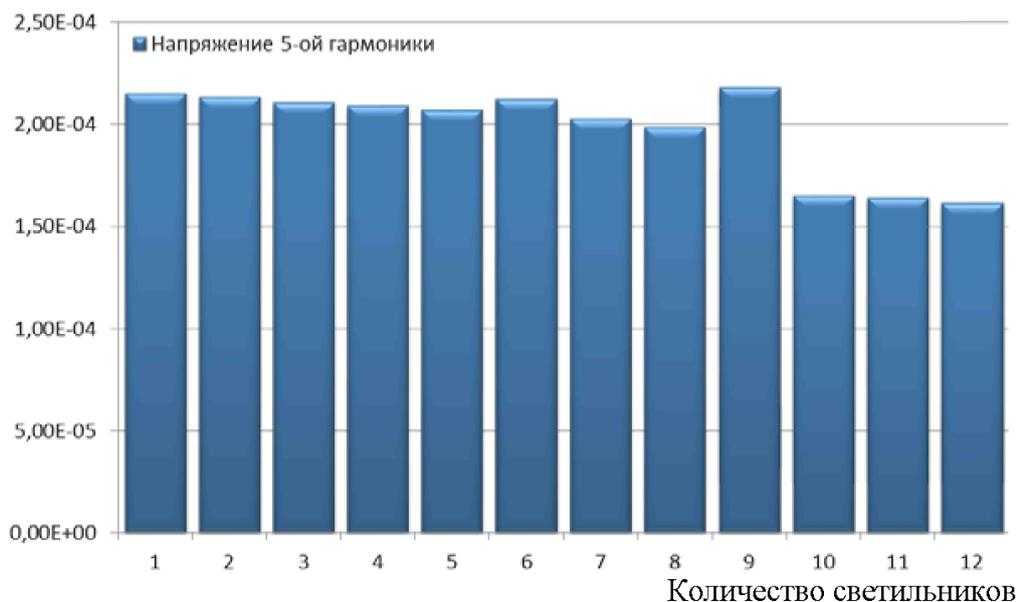


Рисунок 2.9 – Количественный состав пятой гармоники по напряжению в питающей сети в зависимости от количества устанавливаемых СД светильников

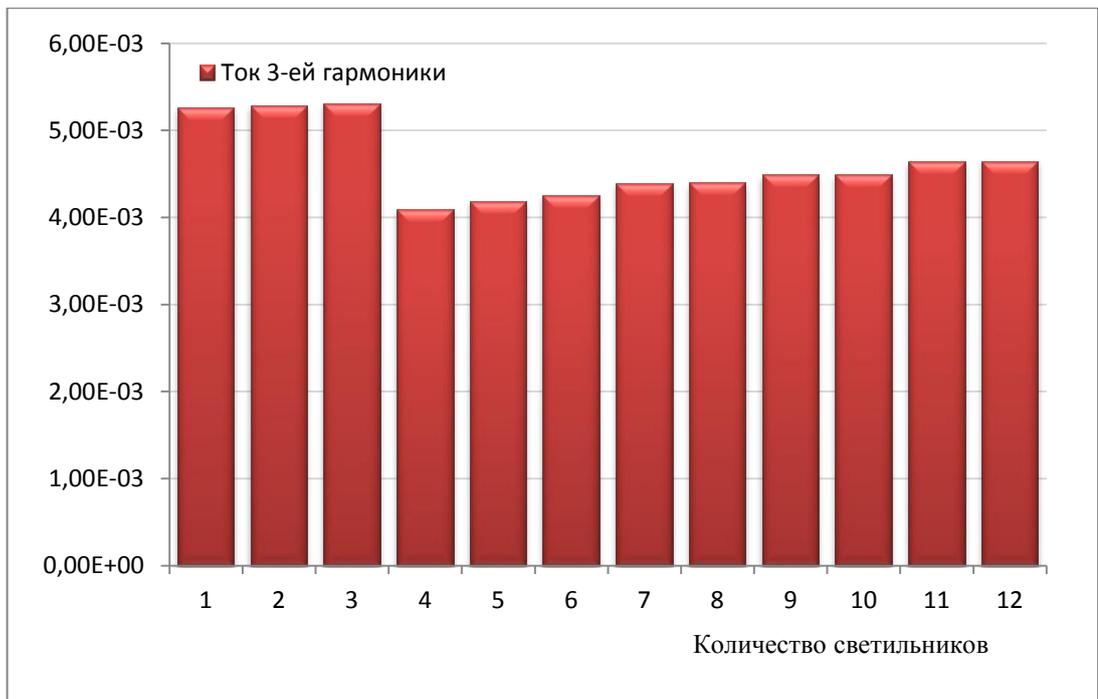


Рисунок 2.10 – Количественный состав третьей гармоники по току в питающей сети в зависимости от количества устанавливаемых СД
СВЕТИЛЬНИКОВ



Рисунок 2.11 – Количественный состав пятой гармоники по току в питающей сети в зависимости от количества устанавливаемых СД
СВЕТИЛЬНИКОВ

Из анализа результатов опытов следует, что при увеличении количества устанавливаемых СД светильников значения напряжения третьей и пятой гармоник уменьшаются, а значения тока третьей и пятой гармоник незначительно, но увеличиваются, что негативно сказывается на качестве электроэнергии, особенно для протяженных осветительных сетей.

«Высокий уровень искажений синусоидальности по току оказывает влияние на режим работы электроприемников, в том числе и на осветительное оборудование» [16].

Применительно к осветительному оборудованию это влияние может выражаться:

- в нагреве и дополнительных потерях в конденсаторах, магнитных частях трансформаторов;
- искажении формы кривой питающего напряжения;
- ухудшении работы электрических и электронных элементов;
- снижении сроков службы.

В основном эти влияния отражаются только на сроках служб осветительного оборудования опосредованно, например, через перегрев электронных элементов дросселей, драйверов т. к. все это может приводить к деградации структуры светодиода и следовательно, к преждевременному выходу из него из строя.

«Таким образом, массовое внедрение энергоэффективных систем освещения на базе светодиодных ламп, может существенно повлиять на показатели качества электрической энергии у потребителей» [16], в особенности на несинусоидальность тока и напряжения, а самое главное, исходя из совокупности в местах преобладания такой нагрузки, вновь установленные энергоэффективные системы освещения, могут выйти из строя в первые годы эксплуатации из-за снижения качества электрической энергии, в связи с увеличением доли потребителей с нелинейной ВАХ.

2.3 Мероприятия по снижению влияния на качество электрической энергии светодиодных светильников

Основные мероприятия направленные на снижение влияния полупроводниковых преобразователей на качество электрической энергии в питающей сети можно классифицировать следующим образом:

- установка устройств подавления n-гармоник;
- подключения питающей линии полупроводниковых преобразователей на шины большой мощности
- использование преобразователей с более высоким коэффициентом пульсации $K_{\text{п}}$.

Подробнее рассмотрим данные мероприятия.

Установка устройств подавление гармоник основана на принципе создания высокого сопротивления для гармоники определенной частоты за счет подключения к сети фильтро - компенсирующего устройства (далее ФКУ), который представляет собой в примитивном варианте подключенную последовательно катушку индуктивности с сетью с параллельно подключенным конденсатором (рисунок 2.12).

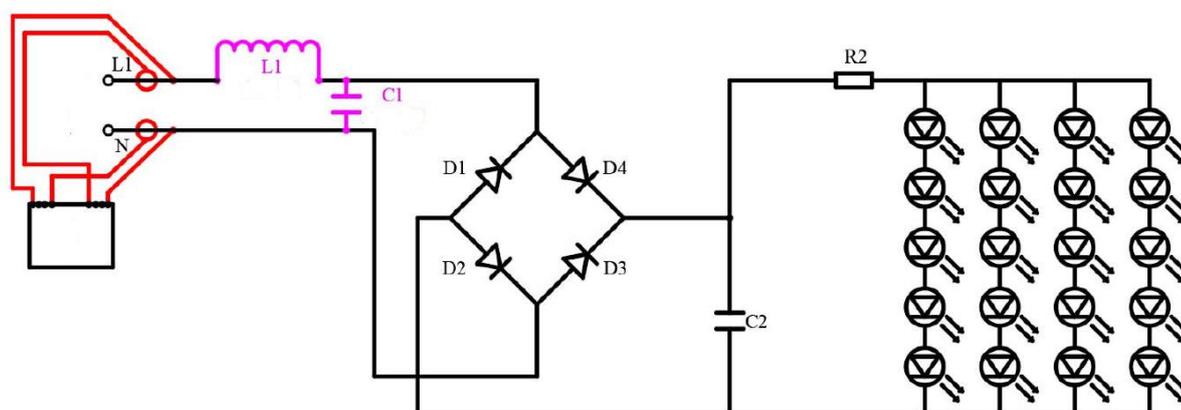


Рисунок 2.12 – Подключение ФКУ к сети

Основным элементом ФКУ является катушка индуктивности, сопротивление которой X_L пропорционально зависит от индуктивности самой катушки $L_{\text{кат}}$ и от частоты f протекающего тока $X_L = 2\omega f L_{\text{кат}}$.

Методика расчета параметров фильтра высших гармоник, заключается в следующем. Определяется минимальная частота среза (фильтрации):

$$f_{\text{срез}} = \frac{U_{DC}}{8I_{\text{ПТ}} \cdot L_{\text{инв}}}, \quad (2.11)$$

где $I_{\text{ПТ}}$ - удвоенное значение амплитуды пульсаций тока, которое может быть принято как 20% от двояного значения номинального тока,

U_{DC} – входное напряжение на преобразователе равное фазному напряжению U_{ϕ} питающей сети.

$L_{\text{инв}}$ - индуктивность катушки фильтра

Исходя из требуемой частоты среза ФКУ, определяются параметры элементов ФКУ.

Значение амплитуды пульсаций тока определяется по выражению

$$I_{\text{max AC}} = \sqrt{2} I_{\text{ном AC}}, \quad (2.12)$$

где $I_{\text{ном AC}}$ - номинальное значение переменного тока определится выражением:

$$I_{\text{ном AC}} = \frac{P_{\text{conv}}}{\sqrt{3} U_{\phi}}. \quad (2.13)$$

Для модели значения определяемы по выражениям примут вид:

Несущая частота определяется по базовой частоте сети:

$$C_{f_{\text{несущая}}} = \frac{f_{\text{откл}}}{f_{\text{сети}}} \quad (2.14)$$

Емкость фильтра, которая необходима для обеспечения требуемой частоты среза определяется по выражению:

$$C_{\text{фильтра}} = \frac{1}{(2\pi f_{\text{среза}})^2 \cdot L}. \quad (2.15)$$

Демпфирующая ветвь необходима для снижения или полного исключения возможных резонансных колебаний вызванных комбинацией $L - C_{\text{фильтра}}$. Индуктивность демпфирующей ветви определяется как:

$$L_{\text{демпф}} = 5L_{\text{VSC}}, \quad (2.16)$$

где L_{VSC} - индуктивность преобразователя напряжения.

Демпфирующее сопротивление определяется по выражению:

$$R_{\text{демпф}} = \sqrt{\frac{L_{\text{демпф}}}{C_{\text{демпф}}}}, \quad (2.17)$$

где $C_{\text{демпф}}$ - емкость демпфирующей ветви определится по выражению:

$$C_{\text{демпф}} = \frac{C_{\text{фильтра}}}{2}. \quad (2.18)$$

Таким образом, подобрав параметры индуктивности и емкости ФКУ можно снизить величину гармонических составляющих отдаваемых в сеть начиная уже с третьей гармоники, частота которой равна $f = 150$ Гц.

Изучив зарубежный опыт, применение ФКУ для подавления гармоник частотой выше 150 Гц в питающей сети СД светильников является наиболее перспективным направлением, особенно в локально распределенных сетях, так как за счет применения ФКУ снижается не только влияние гармоник на питающую сеть, но также оказывает влияние на повышение коэффициента

мощности СД светильников, что оказывает положительное влияние на сеть в целом, так как снижается потребление реактивной мощности $Q_{\text{СД}}$ СД системы освещения и как следствие, снижается величина перетока реактивной мощности $Q_{\text{сет}}$ в общей сети системы электроснабжения. Это не оказывает сильного влияния, когда количество светильников значительно мало, но при существенной доли светодиодного освещения в структуре потребления промышленного предприятия и учреждения, или в изолированных энергосистемах, может оказать должный эффект.

Следующее мероприятие, это выделение питающей сети энергоэффективных систем освещения на отдельную систему шин (ВРУ, ТП и т.д.). Основной подход данного мероприятия заключается в разделении системы электроснабжения нелинейной нагрузки (нагрузка которая существенно оказывает влияние искажения тока и напряжения) и остальной нагрузки друг от друга, за счет различных вариантов схем подключения к шинам трансформаторной подстанции, ВРУ и т.д. Схемы подключения представлены на рисунках 2.13, 2.14.

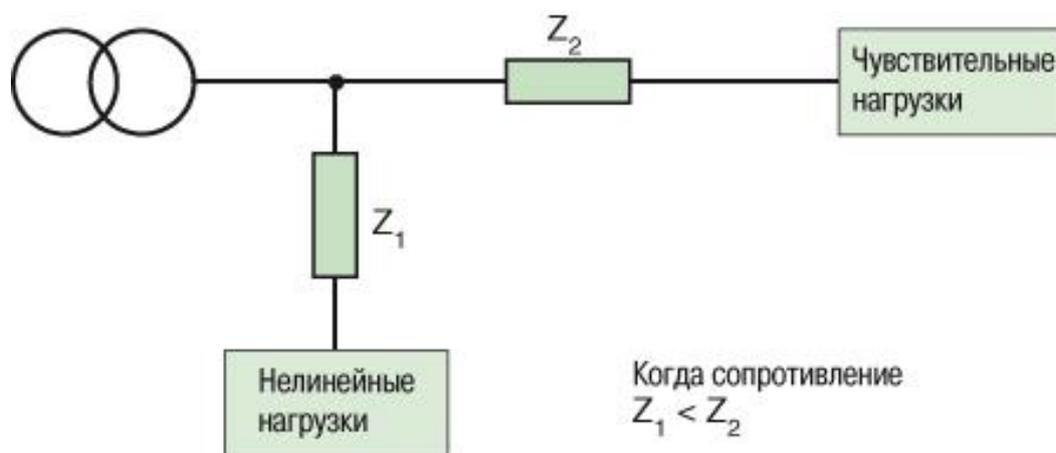


Рисунок 2.13 – Схема подключения СД светильников на шины ТП

Такое подключение не снижает влияния на качество электрической энергии в питающей сети СД светильников, но снижает влияние на

питающую сеть остальных потребителей, за счет более высокого полного сопротивления проводников Z_2 остальных потребителей.

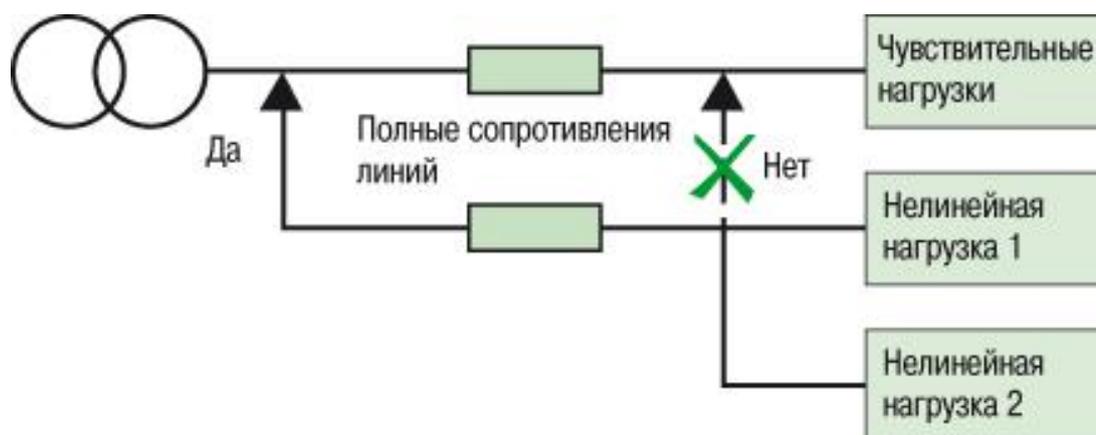


Рисунок 2.14 – Схема объединения нелинейных нагрузок в группу

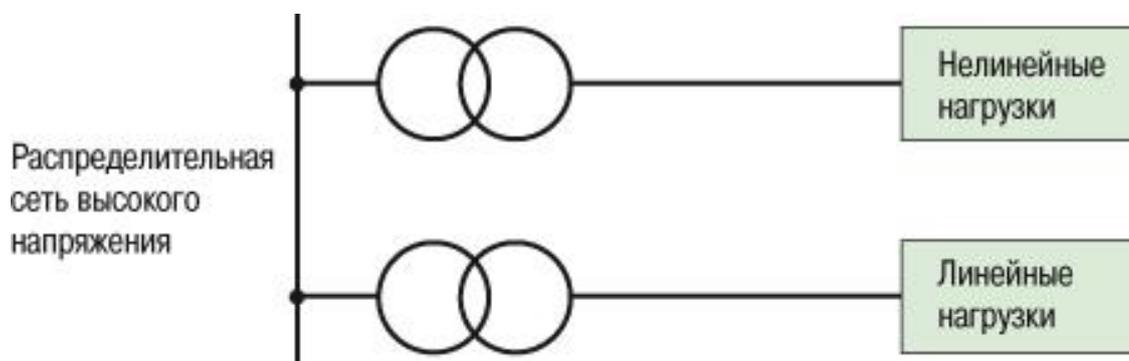


Рисунок 2.15 – Схема подключения разных типов нагрузки на отдельные трансформаторы

На рисунке 2.15 представлена схема с разделением подключения нелинейной и линейной нагрузок на разные силовые трансформаторы в ТП предприятия. Данная схема применима для потребителей с нелинейной ВАХ большой мощности, и очевидно, что вряд ли может быть использована для подключения СД светильников к питающей сети на промышленных предприятиях и административных и общественных учреждениях, но может быть использована в протяженных сетях уличного освещения.

При этом необходимо отметить, что существуют схемы группового регулирования (см. раздел 1.3), когда большое количество СД светильников подключаются через один блок питания, однако такая схема не применима

для протяженных сетей, так как вторичная цепь в таких системах работает на постоянном напряжении 12-24 В, в протяженных сетях постоянного тока падение напряжения на участке цепи значительно выше, чем в сетях переменного тока, что требует увеличения сечения питающих проводников в сети постоянного тока, поэтому для офисных учреждений, с большим количеством достаточно мощных СД светильников, такая схема не подходит подключения не целесообразна, как экономической точки зрения, так и с практической.

Далее рассмотрим последнее мероприятие, это использование источников питания СД светильников с более высокой степенью выпрямленного тока и напряжения за счет использования 12-пульсного выпрямителя (рисунок 2.16).

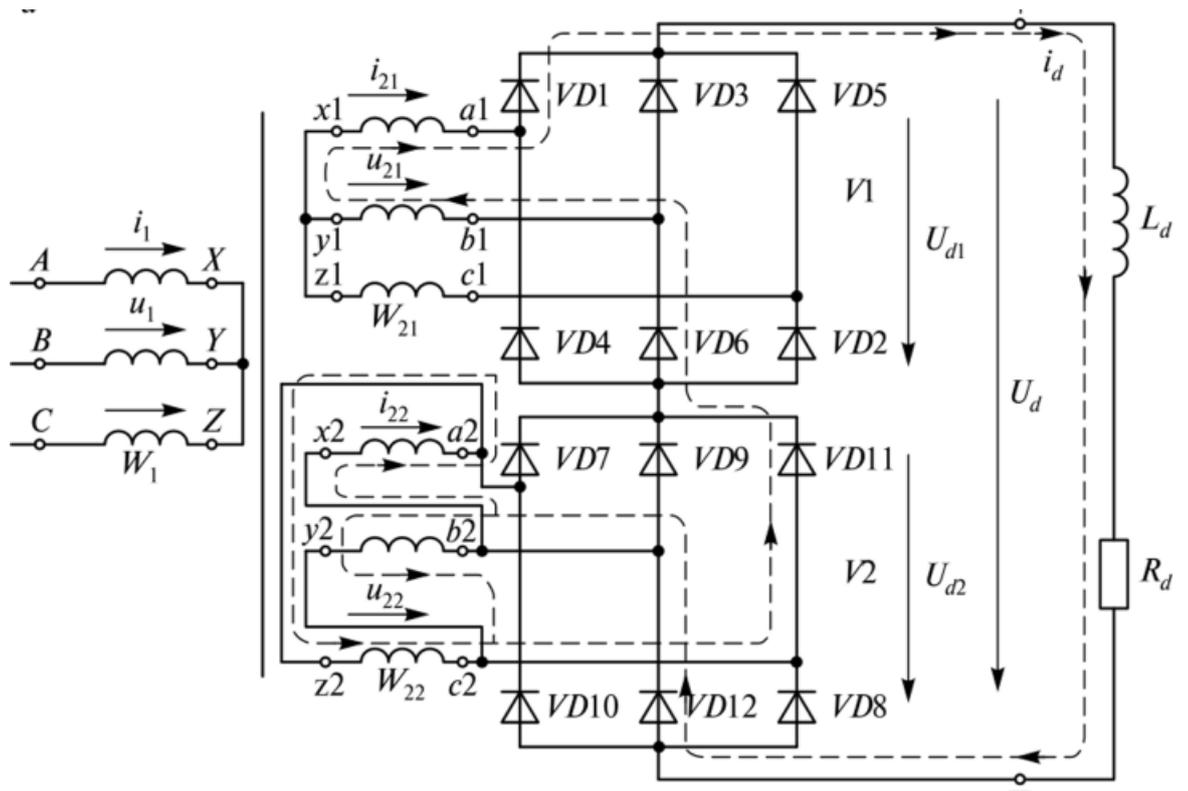


Рисунок 2.16 – Пример схемы 12-пульсного выпрямителя.

Такие схемы выпрямители используются для получения меньших пульсаций выпрямленного напряжения, спектра высших гармоник и как следствие снижение несинусоидальности в питающей сети тока.

Особенностью данной схемы заключается в том, что двенадцатипульсовые схемы строятся на основе «преобразовательного трансформатора с двумя вторичными обмотками, одна из которых соединяется звездой, а вторая — треугольником. К каждой обмотке присоединяется мостовая выпрямительная схема» [20].

Такая схема применима, только для системы управления СД освещением группового регулирования, и не может быть использована для протяженных сетей с СД светильниками.

На основании рассмотренных мероприятий можно сделать вывод, что наиболее перспективной системой снижения влияния СД светильников на показатели качества электрической энергии являются ФКУ.

Так как установка ФКУ является наиболее «гибким» мероприятием за счет возможности использования для различных СД светильников с различными источниками питания.

Выводы по главе второй

Во второй главе подробно рассмотрены вопросы влияния СД светильников на качество электрической энергии и определены наиболее эффективные мероприятия по снижению данного влияния.

По результатам второй главы можно сделать следующие выводы.

Увеличение количества СД светильников оказывает существенное влияние на несинусоидальность тока.

Из анализа результатов проведенного инструментального исследования влияния количества светодиодных светильников на качество электрической энергии следует, что при увеличении количества устанавливаемых СД

светильников значения напряжения третьей и пятой гармоник уменьшаются, а значения тока третьей и пятой гармоник незначительно, но увеличиваются, что негативно сказывается на качестве электроэнергии, особенно для протяженных осветительных сетей.

Из рассмотренных мероприятий по снижению влияния СД светильников таких как:

- установка фильтрующих устройств подавления гармоник;
- установка светодиодных светильников с более высокой степенью выпрямления тока и напряжения (12-пульсного выпрямителя);
- выделение питающей сети энергоэффективных систем освещения на отдельную систему шин (ВРУ, ТП и т.д.).

Наиболее перспективными являются ФКУ, за счет своей простоты и возможности широкого использования.

3 Разработка перспективной системы освещения на базе СД светильника

«Фирмы изготовители такие как Osram, Philips, Tridonic, Helvar и другие, предлагают множество СУО для осветительных установок с СД лампами. В системах с аналоговым управлением команды ручного управления или сигналы от датчиков освещённости, присутствия и времени подаются на управляющие входы драйвера в виде постоянного напряжения (в диапазоне 0-10 В), вызывая соответствующее изменение светового потока управляемых СД ламп» [30]. Ручное управление, как правило, осуществляется дистанционно с помощью пультов с инфракрасными излучателями или с помощью потенциометров, устанавливаемых рядом с выключателями. Данный протокол управления предусматривает подключение следующих устройств:

- 1 Датчиков, поддерживающих постоянный уровень освещённости;
- 2 Датчиков движения;
- 3 Потенциометров, дающих возможность ручного регулирования яркости ИС;
- 4 Устройства отключения через заданный промежуток времени после включения;
- 5 Пульты дистанционного управления.

Но при всем многообразии элементов, способствующих экономии ЭЭ, аналоговый интерфейс имеет множество недостатков:

1. При включении в цепь нескольких датчиков, каждый фотоэлемент управляет освещением в отдельной зоне, при этом их работа не согласована между собой;
- 2 Отсутствует возможность повременного включения и отключения;
- 3 Возможность программирования не более 4 сцен освещения;

4 Невозможность выключить 1-10 В модули посредством интерфейса.

5 Необходимо использование специальных СД светильников с большим количеством СД и внутренним групповым регулированием включения/отключения СД.

В отличие от аналоговых систем, цифровое управление по стандарту DALI (Digital Addressable Lighting Interface) позволяет осуществлять программирование освещения в помещении и осуществлять адресное управление светильниками. Система цифрового управления освещением по стандарту DALI также требует прокладки дополнительной двухпроводной управляющей сети. Использование СУО с датчиками освещённости, присутствия и времени позволяет экономить до 70% электроэнергии, расходуемой на освещение.

Преимущества цифровых интерфейсов относительно аналоговой системы 1-10 В [32]:

- простая прокладка линий управления (не надо формировать группы, не имеет значения полярность);
- возможность управления индивидуальными балластами (адресация индивидуального балласта) или группы балластов (адресация группы балластов);
- автоматическое и одновременное управление всех СД светильников, выбранных в группу;
- отсутствует необходимость коммутировать силовое напряжение с помощью внешнего реле (это сделано внутренними электронными компонентами с помощью PLC контроллера).

Стандарт DALI является «открытой системой», умеренной по стоимости, что позволяет любому производителю приборов связывать диммируемые аппараты, выключатели и датчики для объединения в локальную систему освещения. Каждая сеть DALI может состоять из 64 одиночных драйверов, подключенных к одному блоку управления

(контроллеру). Контроллер DALI или шлюз DALI может подключаться к другим инженерным устройствам здания, благодаря системе стандартизации такого рода оборудования. При оснащении здания системами и оборудованием от разных производителей важно, чтобы технические устройства не «конфликтовали» между собой, а были бы совместимы и представляли единое целое. Проблема совместимости была решена через разработку так называемых «стандартов открытых систем». Возможность обмена данными обеспечивает сетевую совместимость систем и возможность интеграции систем в единый комплекс.

Ассортимент АСУО на сегодняшний день обширен, как с точки зрения областей применения (офисы, общественные здания, промышленность, жилой сектор и т.д.), так и по масштабу самих систем. Рассмотрим более подробно АСУО, предназначенные для использования в административных помещениях.

В настоящее время многие производители выпускают не готовые АСУО, а «самонаборные» варианты, состоящие из отдельных элементов (контроллеров, панелей управления, диммеров, датчиков и т.д), предлагая пользователю самостоятельно собирать необходимую систему наподобие конструктора. Зачастую, такие варианты отличаются от готовых систем большей гибкостью и универсальностью, так отдельные элементы, как правило, поддерживают многие управляющие интерфейсы. Остановимся более подробно на механизме использования естественного освещения, как факторе, определяющим наибольший вклад в экономию ЭЭ. Кроме того, действие этого фактор, в отличие, например, от учета присутствия людей можно спрогнозировать.

Фотодатчик обычно устанавливающийся на потолке, «измеряет освещенность» на рабочей поверхности, которая складывается из освещенности от естественного света и освещенности, создаваемой ОУ помещения. В условиях изменчивости естественного света суммарная освещенность на рабочей поверхности может превысить необходимый,

заранее устанавливаемый уровень, в этом случае АСУО снижает поток ОУ по одному из ранее перечисленных алгоритмов до тех пор, пока освещенность не достигнет установленного уровня.

В случае, когда суммарная освещенность значительно (точное значение может задаваться пользователем) превышает установленный уровень, СД светильники в помещении могут быть полностью отключены. В целях еще большего снижения энергопотребления ОУ, работа фотодатчика обычно координируется с работой датчика присутствия.

Из рассмотренных систем наиболее оптимальна и проста система отечественного производства ИСУО на базе модуля КУЛОН для офисных помещений ООО «ЭКОЭНЕРГОСНАБ».

Эта многофункциональная, автоматическая система управления освещения, которая удовлетворяет сегодняшним запросам энергоэффективности, гибкая и легкая в использовании для освещения. Когда датчик освещенности объединен с остальными датчиками присутствия, потенциометром или стандартные выключатели кнопки, ИСУО становятся универсальной системой управления для внутреннего освещения.

Возможности данной системы заключаются в следующем:

1. Ручной контроль. Инфракрасное Дистанционное управление.
2. Обычный легкий контроль. Выключатель вкл\выкл и диммер.
3. Многофункциональный контроль. Переключение сцен освещения
- 4 Диммирование при помощи панели управления с переключателями, связанного с системой управления через интерфейс.
- 5 Ручной контроль с экономией энергии. Датчик движения с инфракрасным дистанционным управлением.
- 6 Датчик освещенности, объединенный с инфракрасным дистанционным управлением. Освещение автоматически регулируются, чтобы поддерживать постоянный уровень освещенности.
- 7 Датчик освещенности и датчик движения с дистанционным управлением IR.

Освещение автоматически регулируется, чтобы поддерживать постоянный уровень освещенности. Датчики движения реагируют на присутствие людей.

8 Автоматическое управление с экономией энергии. Полностью автоматизированное управление с использованием датчиков освещения и присутствия.

Использование в офисном помещении датчика освещенности поможет сэкономить ЭЭ. Зачастую ЭЭ в этом помещении расходуется неэффективно - включив свет утром, когда недостаточно естественного света (или при полном его отсутствии зимой) СД светильники могут продолжать гореть на протяжении всего дня. Работники не обращают внимания на то, что свет в офисном помещении может расходоваться бессмысленно. Включив утром общее освещение при недостатке естественного освещения, все светильники могут продолжать гореть весь день. Датчик освещенности поможет управлять количеством света для поддержки нормируемого уровня освещенности, а так же отключит общее освещение или часть СД светильников при достаточном количестве естественного света во всем помещении.

Система позволяет создавать различные сцены освещения и автоматически их изменять путем программирования через компьютер. Так, при отсутствии естественного света есть необходимость запрограммировать систему таким образом, чтобы в середине помещения на рабочих столах, где имеется пересвет, освещенность была уменьшена до оптимального значения. За счет этого будет также происходить экономия ЭЭ.

Экономия ЭЭ в помещениях без естественного света требует к себе большего внимания. Здесь не получится добиться ее за счет естественного света. Как правило, в таких офисных кабинетах система освещения работает в течение всего дня и на полную мощность.

Помимо экономии ЭЭ не маловажным для СУО является требования надежности и разумных сроков окупаемости ОУ, то есть на выбор того или

иного типа СУО влияют начальные капиталовложения, стоимость электроэнергии и эксплуатационные расходы. Соответственно чем выше стоимость ЭЭ и ниже другие расходы, тем быстрее окупится установка с СУО. Если в ОУ СУО выполняет все четыре основные функции, то срок окупаемости будет зависеть от площади помещения, освещаемой естественным светом. Соответственно чем она больше, тем быстрее.

Также необходимо отметить, что срок окупаемости зависит и от нормальной работы СД светильников, в соответствии с заявляемыми заводом изготовителем сроками работы 30-50 тыс. часов, т.е 12-20 лет.

Такой длительный срок службы СД светильников не возможен без обеспечения в соответствии ГОСТ 32144-2013 соответствующего качества электроэнергии, исходя из рассмотренных вопросов в разделе 2 данной работы, в АСОУ необходима установка ФКУ устройства (рисунок 3.1). ФКУ необходимо подключать в фазный провод между PLC контроллером, который управляет режимом работы СД светильника и самим СД светильником. При групповом управлении СД светильниками можно использовать PLC контроллер с встроенным ФКУ.

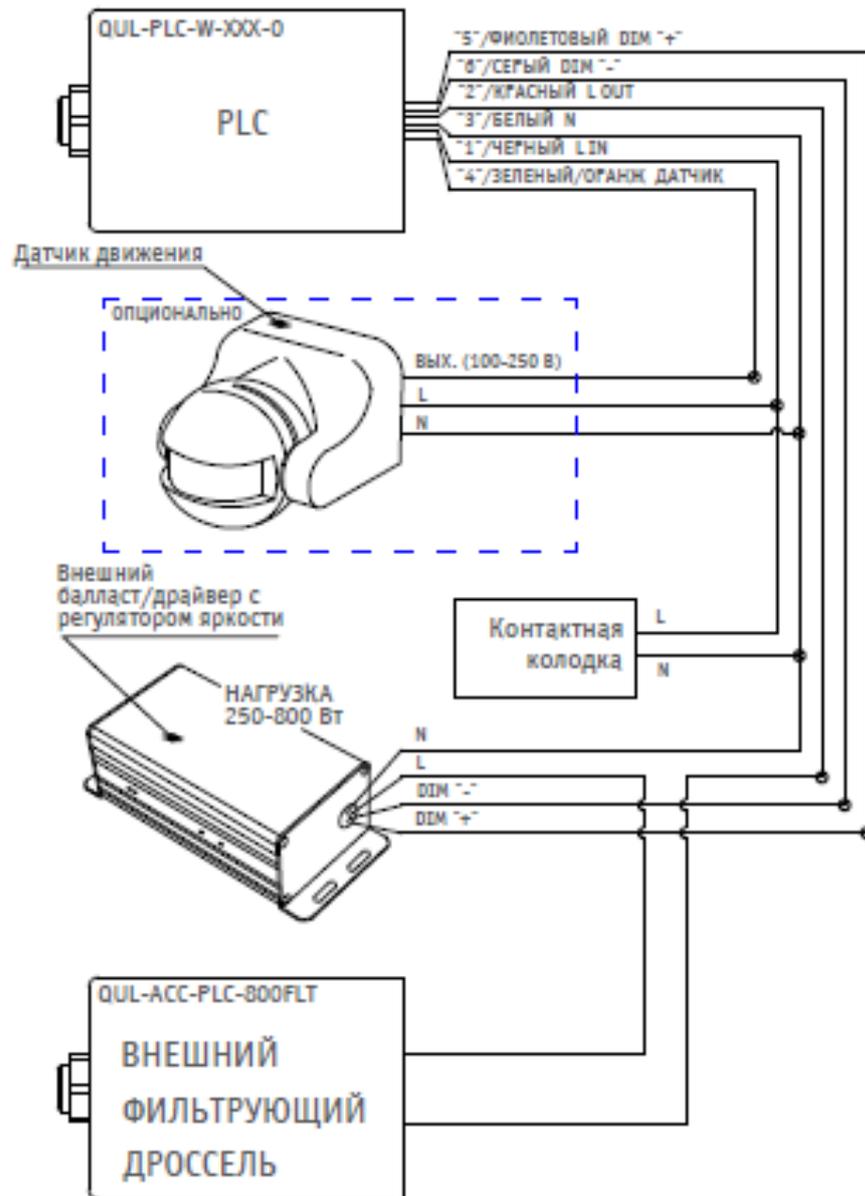


Рисунок 3.1 – Схема подключения ФКУ в цепь питания СД светильника

Использование ФКУ позволит снизить величину гармонических составляющих тока отдаваемых в питающую сеть, и тем самым обеспечит требуемый коэффициент искажения

3.1 Расчет параметров ФКУ

На основании методики рассмотренной в разделе 2.3 данной работы проведем расчет выбора параметров ФКУ устанавливаемых на группе 12 СД светильников в офисном помещении ООО «ЭКОЭНЕРГОСНАБ».

По формуле 2.13 определим максимальный ток в питающей сети:

$$I_{ном AC} = \frac{288}{\sqrt{3} \cdot 230} = 0,74 \text{ А}$$
$$I_{max AC} = \sqrt{2} I_{ном AC} = \sqrt{2} \cdot 0,74 = 1,02 \text{ А}$$

Значение пульсирующего тока $I_{ПТ}$ получим как:

$$I_{ПТ} = \frac{20}{100} \cdot 1,02 = 0,2 \text{ А}$$

Тогда частота отключения:

$$f_{откл} = \frac{U_{DC}}{8 I_{ПТ} \cdot L_{инв}} = \frac{230}{8 \cdot 0,2 \cdot 2,6 \cdot 10^{-5}} = 5528 \text{ Гц}$$

Несущая частота определяется по базовой частоте сети:

$$C_{f_{несущая}} = \frac{f_{откл}}{f_{сети}} = \frac{55280}{50} = 110,6$$

Для фильтра используется частота среза 150 Гц.

Емкость фильтра, которая необходима для обеспечения требуемой частоты среза определяется по выражению (2.15):

$$C_{фильтра} = \frac{1}{(2\pi \cdot 150)^2 \cdot 2,6 \cdot 10^{-6}} = 978 \text{ мкФ}$$

Демпфирующая ветвь необходима для снижения или полного исключения возможных резонансных колебаний вызванных комбинацией $L - C_{\text{фильтра}}$. Индуктивность демпфирующей ветви определим по выражению (2.16):

$$L_{\text{демпф}} = 5 \cdot 2,6 \cdot 10^{-5} = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Емкость демпфирующей ветви определится по выражению (2.17):

$$C_{\text{демпф}} = \frac{C_{\text{фильтра}}}{2} = \frac{97,8}{2} = 487 \text{ мкФ,}$$

Активное сопротивление демпфирующей ветви:

$$R_{\text{демпф}} = \sqrt{\frac{L_{\text{демпф}}}{C_{\text{демпф}}}} = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 10^{-4}}{487 \cdot 10^{-6}}} = 0,56 \text{ мОм.}$$

По результатам выбранного ФКУ влияние установленных СД светильников на качество электрической энергии в питающей сети существенно снижено (рисунок 3.2).

Таблица 3.1 – Значения гармонических составляющих кривых напряжения и тока в питающей сети системы освещения

Номер гармоники	Действующее значение n гармоники тока, А
3	0,0052700
5	0,0029600
7	0,0001190
9	0,0015600
11	0,0000460
13	0,0000780

Продолжение таблицы

15	0,0003090
17	0,0000285
19	0,0000346
21	0,0004030
23	0,0007960
25	0,0003000
27	0,0001920
29	0,0009680
31	0,0004140
33	0,0004060
35	0,0000043
37	0,0003050
39	0,0002220
41	0,0000022
43	0,0000528
45	0,0000065
47	0,0001510
49	0,0006850



Рисунок 3.2 - Спектральный состав гармоник по току в питающей сети на одном светильнике после установки ФКУ

3.2 Расчёт энергоэффективности перспективной системы освещения на базе светодиодных светильников с установкой ФКУ

Проведем оценку эффективности ИСУО на базе СД светильников с установкой ФКУ.

Расчет эффективности ИСУО представляет собой:

- Сопоставление расчетных значений потребления электрической энергии существующей системы освещения с расчетными значениями предлагаемой к установке ИСУО со светодиодными светильниками.

В качестве примера рассмотрим систему освещения до установки СД светильников с ИСУО и установкой ФКУ в офисном помещении на объекте исследования. До установки система освещения была выполнена светильниками в количестве 12 шт с лампами ЛЛ мощностью 16 Вт и световым потоком $\Phi_{\text{л}}$ 3100 лм. Светильники обеспечивают требуемый уровень освещенности рабочей поверхности 300 лк, в соответствии с СНиП 23-05-95. Система освещения работает преимущественно в дневное время. Годовое число часов работы системы освещения $T_{\text{Г}}$ составляет 2500 часов.

Мощность системы освещения определяется следующим образом:

$$P_{\text{УСТ ОСВ}} = N \cdot P_{\text{СВ}} \quad (3.1)$$

$$Q_{\text{ОСВ}} = P_{\text{ОСВ}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{ОСВ}} \quad (3.2)$$

где $P_{\text{СВ}}$ – установленная мощность одного светильника кВт; N – количество светильников.

При использовании ламп накаливания $Q_{\text{ОСВ}}$ равна нулю, так как $\cos \varphi = 1$. При использовании разрядных ламп с необходимо учитывать наличие/отсутствие индивидуальной компенсации реактивной мощности $\cos \varphi = 0,8 \div 0,95$;

Годовое потребление электроэнергии системой внутреннего освещения определяется по формуле:

$$W_{\text{год}} = \Sigma P_{\text{уст осв}} \cdot T_{\Gamma} \cdot K_{\text{И}} \cdot K_{\text{ПРА}} \quad (3.3)$$

где $\Sigma P_{\text{уст}}$ – суммарная установленная мощность всех светильников системы освещения; T_{Γ} – число часов работы в году, принимаем $T_{\Gamma} = 2500$ час.; $K_{\text{ПРА}}$ – коэффициент потерь в ПРА. Для электромагнитных ПРА $K_{\text{ПРА}} = 1,22$, для электронных $K_{\text{ПРА}} = 1,05$.

До реконструкции:

$$W_{\text{год др}} = 768 \cdot 2500 \cdot 0,8 \cdot 1,05 = 1814,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

Результаты расчётов занесем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Сопоставление расчетных значений потребления до и после реконструкции системы освещения

Наименование параметра	Ед. изм.	Существующая система освещения	Предлагаемая к установке ИСУО	Оценка энергоэффективности
«Зона» А (от датчика освещенности и датчика присутствия)				
Тип ламп		ЛЛ	СД	
Единичная мощность свет.	Вт	64	32	64/32=2
Количество	шт.	6	6	
Время работы	час/год	2500	2000	500
Потребление э/э	кВтч/год	907,0	345,6	907-345,6=561
Стоимость э/э	руб. / кВт·ч	5,579	5,579	
Экономия в фин. выражении	руб. / год			561,6*15,579= =3133,2
«Зона» В (от датчика освещенности и датчика присутствия)				
Тип ламп		ЛЛ	СД	
Единичная мощность	Вт	64	32	64/32=2
Количество	шт.	3	3	
Время работы	час/год	2500	2000	500
Потребление э/э	кВтч/год	453,6	172,8	453,6-172,8=280,8

Продолжение таблицы 3.1

Стоимость э/э	руб. / кВт·ч	5,579	5,579	
Экономия в фин. выражении	руб. / год			280,8*5,579= 1566,6
«Зона» С (от датчика освещенности и датчика присутствия)				
Тип ламп		ЛЛ	СД	
Единичная мощность	Вт	64	32	64/32=2
Количество	шт.	3	3	
Время работы	час/год	2500	2000	500
Потребление э/э	кВтч/год д	453,6	172,8	453,6-172,8=280,8
Стоимость э/э	руб. / кВт·ч	5,579	5,579	
Экономия в фин. выражении	руб. / год			280,8*5,579= 1566,6
Итого экономия э/э	кВтч/год д			=561,6+280,8+280,8=1123,2
Итого в денежном выражении [В]	руб. / год			=3133,2+1566,6+1566,6=6266,3
Стоимость СД светильников с ИСУО и ФКУ	руб.		55 000	
Окупаемость	месяцев (лет)		55000/6266.3=8,7	

После реконструкции:

$$W_{\text{год пр}} = 0,384 \cdot 2500 \cdot 0,9 = 950,4 \text{ кВт·ч/год.}$$

В случаи, если существующая система освещения разбивается на зоны, в которых режим отличается друг от друга за счет разных датчиков управления ИСУО (датчики освещенности, датчики присутствия), то расчет годового потребления электрической энергии системы освещения после реконструкции определяется:

$$W_{\text{год пр}} = 0,192 \cdot 2000 \cdot 0,9 + 0,096 \cdot 2000 \cdot 0,9 + \\ + 0,096 \cdot 2000 \cdot 0, = 691,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

Годовая экономия электроэнергии составит после реконструкции с использованием ИУСО и установкой ФКУ

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}} = W_{\text{год др}} - W_{\text{год пр}} \quad (2.5)$$

$$\Delta W_{\text{ЭЭ}} = 1814,4 - 691,2 = 1123,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}$$

Годовая экономии в финансовом выражении определяется:

$$B = \Delta W_{\text{ЭЭ}} \cdot C \text{ руб/год} \quad (2.6)$$

$$B = 1123,2 \cdot 5,579 = 6266,3 \text{ руб/год}$$

где C - стоимость электроэнергии - 5,579 руб. / кВт·ч.

Простой срок окупаемости составит 8,7 лет, что довольно существенно. Поэтому для достижения фактической окупаемости в соответствии с расчетным значение, необходима нормальная работа СД светильников, которая будет обеспечена за счет установки ФКУ.

Таким образом, использование систем интеллектуального управления освещения может существенно снизить расходы на электроэнергию за счет:

- внедрения системы с датчиками освещенности и присутствия, что дает до 60 % экономии [4].
- раздельное управление отдельными светильниками или группами светильников по «зонам».
- установка ФКУ снизит влияние СД светильников на качество электрической энергии и обеспечит нормальную работу СД светильников на всем сроке их эксплуатации.

Выводы по главе третьей

В третьей главе подробно рассмотрены перспективные системы управления освещением на базе светодиодных светильников.

Выбрана интеллектуальная система управления освещением в офисном здании на базе модуля КУЛОН отечественной разработки.

Выбраны параметры ФКУ компенсации влияния СД светильников на показатели качества электрической энергии. Проведено технико-экономическое обоснование выбранной системы ИСУО СД светильников с установкой ФКУ.

Определено, что простой срок окупаемости ИСУО системы с СД светильниками составляет около 8,7 лет, что существенно. Поэтому необходима обязательная установка ФКУ для обеспечения нормальной работы СД светильников, что обеспечит достижения экономических расчетных показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской работе подробно рассмотрена конструкция светодиодной лампы и светодиодных светильников. Рассмотрены конструктивные решения светодиодной лампы для создания белого светового потока, а также применяемые источники питания.

Наглядно рассмотрен вопрос влияния конструктивных особенностей источника питания СД светильников на искажения напряжения и тока в питающей сети, а увеличение количества СД светильников оказывает существенное влияние на несинусоидальность тока.

По результатам проведенного инструментального исследования влияния количества светодиодных светильников на качество электрической энергии установлено, что при увеличении количества устанавливаемых СД светильников значения напряжения третьей и пятой гармоник уменьшаются, а значения тока третьей и пятой гармоник незначительно, но увеличиваются, что негативно сказывается на качестве электроэнергии, особенно для протяженных осветительных сетей.

Подробно рассмотрены мероприятия по снижению влияния СД светильников на качество электрической энергии, на основании проведенного анализа определено, что наиболее перспективными являются ФКУ, за счет своей простоты и возможности широкого использования.

В результате выбрана интеллектуальная система управления освещением на объекте исследования на базе модуля отечественной разработки.

Выбраны параметры ФКУ компенсации влияния СД светильников на показатели качества электрической энергии. Проведено технико-экономическое обоснование выбранной системы ИСУО СД светильников с установкой ФКУ.

Выполнено технико-экономическое обоснование разработанного варианта перспективной системы освещения на базе СД светильников.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Гвоздев С.М., Панфилов Д.И. Энергоэффективное электрическое освещение, под ред. Л.П. Варфоломеева. - М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 288с.
- 2 Долгопол Т.П. Энергоэффективные источники света для учебных заведений // Вестник Кузбасского государственного технического университета, №1 - 2011г, стр 64.
- 3 Официальный сайт OSRAM. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.osram.m/ds/ecat/Люминесцентные%20лампы%20T8-Люминесцентные%20лампы-Лампы/m/ra/GPS01_1027857/PP_EUROPE_RU_eCat/
- 4 Варфоломеев Л.П. Элементарная светотехника. / Под редакцией Ю.Б.Айзенберга. / М.: «Знак». 2008. 220с.
- 5 ГОСТ 19680-74 «Аппараты пускорегулирующие стартерные для люминесцентных ламп. Технические условия».
- 6 Варфоломеев Л.П. Электронные ПРА и системы управления освещением/ Под общей редакцией доктора техн. наук, профессора Ю. Б. Айзенберга. - М., 2002.
- 7 Проблемы энергосбережения России [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docplayer.ru/39654738-Problemny-energoberezeniya-v-rossii.html>.
- 8 Айзенберг, Ю.Б. Энергосбережение в освещении/ Ю.Б. Айзенберг, Л.П. Варфоломеев// Дом света, издательство «Знак». - 1999. - С268.
- 9 Бадгутдинов М.Л. «Особенности излучательной рекомбинации в p-n- гетероструктурах InGaN/AlGaN/GaN с множественными квантовыми ямами и светодиодах на их основе», 2007.

10 Справочник «Светодиодное освещение» © 2010 Philips Solid-State Lighting Solutions, Inc.

11 Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. - 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 - 496с.

12 Котов В.К., Спиридонов Д.Л. Влияние энергоэффективных систем освещения на показатели качества электрической энергии и мероприятия по оценке влияния при проведении энергетического обследования. Проблемы, цели и новые возможности // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. LVIII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 10(57). с.95.

13 Котов В.К., Пульцин Е.Е. Влияние энергоэффективных систем освещения на показатели качества электрической энергии. // Электронный сборник студенческих работ всероссийской научно-практической междисциплинарной конференции «Молодежь. Наука. Общество». Тольятти. 2018., с.689-690.

14 Пульцин Е. Е., Котов В. К., Неборак А. В. Освещение складских помещений// Электронный сборник студенческих работ всероссийской научно-практической междисциплинарной конференции «Молодежь. Наука. Общество». Тольятти. 2018. С.705.

15 Котов В.К. Влияние энергоэффективных систем освещения на показатели качества электрической энергии и мероприятия по повышению энергоэффективности данных систем. V Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов «Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019)//Электронный сборник. Тольятти 2019. 2019. с 96-98. [Электронный ресурс]-<https://elibrary.ru/item.asp?id=41483097>

16 ГОСТ Р 56743-2015 «Измерение и верификация энергетической эффективности. Общие положения по определению экономии энергетических ресурсов».

17 ФЗ от 23.11.2009 г. № 261 (с изменениями на 29.12.2014г.) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

18 Приказ от 30.06.2014г. № 400 «Об утверждении требований к проведению энергетического обследования и его результатам и правил направления копий энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования».

19 Фрей Д.А., Костюченко П.А., Зубкова А.Г. Евсеенко И.В. Барохатов В.Д. Царьков И.Н. Оценка экономической эффективности энергосбережения: теория и практика: Справочно-методическое издание / Под общей редакцией А.Г. Зубковой, Д.А. Фрей. – М.: Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2015. - 400 с.

20 Енин А.С. Влияние нагрузок электрического освещения на качество электрической энергии // Вестник ТвГТУ. -2015г. - Вып. 28, № 2. – С. 27-31.

21 Чазова Т.Ю., Чазов А.В. Управление энергопотреблением. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2005. 168 с.

22 Энергетический менеджмент – основа для реализации энергосервисных контрактов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://portalenergo.ru> // Дата обращения: 24.12.2015

23 Гельманова З.С., Жабалова Г.Г., Филатов А.В. Теория и практика применения системы энергетического менеджмента// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований №10-3, 2014, С. 69-70.

24 Сюсюкин А.И., Тарасовский В.Г. Концепция создания системы рационального потребления и энергосбережения на предприятии // Электрика. – 2009. – № 6.

25 Гизатуллина, Д. М. Магистерская диссертация. Источник питания для светодиодного модуля [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://hdl.handle.net/123456789/7688>. (Дата обращения 05.05.2020).

- 26 Степочкин Е.А. Регламентирование процесса учета и контроля энергозатрат // Проблемы экономики и менеджмента, №12 (16), - 2012
- 27 Федеральный закон от 27.12.2002 №184-ФЗ (ред. от 28.11.2015) «О техническом регулировании».
- 28 ИСО – Международная организация по стандартизации.: [Электронный ресурс]. URL:<http://www.iso.org/iso/home.htm> (Дата обращения: 18.02.2016)
- 29 Стандарт BS 8207:1985 «Свод практик для энергоэффективности зданий»
- 30 Бобриков Д.А., Сенькин С.В., Горбунов В.Л. Развитие энергетического менеджмента в качестве предпосылки построения автоматизированной системы управления// Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) # IV, 2014 | Технические науки с.28
- 31 Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Лакомкин В.Ю. Энергосбережение и выбросы парниковых газов (CO₂): учебное пособие/ СПбГТУРП. - СПб., 2014. С.18
- 32 Миль А. С. Энергетический менеджмент для повышения качества продукции // “Энергосбережение” №1 – 2013
- 33 Аналитический портал <http://www.energyland.info>
- 34 Тимченко Е.А., Шадрин А.Д. Применение стандарта ISO 50001 – Инструмент повышения энергоэффективности организации // Информатика и кибернетика (ComCon-2015). – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С.364
- 35 Указ Президента Российской Федерации от 04.06.2008 № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики». Информационно-правовой портал.- URL: <http://www.garant.ru/>
- 36 Padhan S. K., Nahak C. Journal of Control Science and Engineering // Hindawi Publishing Corporation. Egypt, 2016. PP. 45-61.
- 37 Telkomnika Wang Y., Wang Yong, Li Shun-chu. Indonesian Journal

of Electrical Engineering [// Institute of Advanced Engineering and Science. Indonesia, 2016. PP. 24-35.

38 Research provides insight into unexplained line outages // INMR. 2011. Vol. 19. № 4. P. 78-86.

39 Fujita H., Yamasaki T., Akagi H. A hybrid active filter for damping of harmonic resonance in industrial systems // IEEE transactions on power electronics. 2002. vol. 15. №2. 3.215-222.

40 Le Roux A.D., Mouton Hd.T., Akagi H. Digital control of an integrated series active filter and diode rectifier with voltage regulation // IEEE Transactions on industry applications. 2013. vol.39. №6. P.1814-1820.

41 Minullin R.G., Fardiev I.Sh., Gubaev D.F., Lukin E.I. Specific Features of the Connection of a Reflectometer to Power Transmission Lines for Location Probing // Russian Electrical Engineering. New York: Allerton Press, Inc., Vol. 79 (№ 2). 2012. P. 84-91.