

Секция X ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СХЕМОТЕХНИКЕ И ДИАГНОСТИКЕ МОНТАЖА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

В. В. Джунковский

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Научный руководитель О. Ч. Ролич

Автоматизация технологических процессов и установок является одним из важнейших направлений технического прогресса. Эффективная автоматизация невозможна без правильного монтажа, вдумчивой наладки, точного диагностирования, выявления ошибок в работе и грамотной эксплуатации приборов и средств автоматизации. Зная это, студенты как будущие специалисты по автоматизации технологических процессов и установок должны получить соответствующие практические навыки в данной области [1].

Основным управляющим звеном современных систем автоматизации является микропроцессорный контроллер. Широкую популярность микропроцессорные контроллеры получили благодаря следующим достоинствам:

- универсальности, заключающейся в отсутствии необходимости изменения архитектурной базы системы автоматизации при решении широкого спектра задач;
- гибкости (легкости в настройке и управлении), состоящей в возможности многократного перепрограммирования контроллера и в программируемом доступе к внешним устройствам контроллера при расширении архитектуры системы автоматизации;
- возможности диагностики системы как в процессе ее монтажа и наладки, так и во время эксплуатации в реальном масштабе времени.

Авторами разработан аппаратно-программный комплекс для изучения принципов функционирования, архитектуры и интерфейсов микропроцессорных средств автоматизации, позволяющий на практике закрепить методику диагностики монтажа микропроцессорных систем и теоретический материал дисциплины «Монтаж, эксплуатация и диагностика систем автоматизации» специальности 1-53 01 01-09 «Автоматизация технологических процессов и производств».

В основе предлагаемого аппаратно-программного комплекса лежит стенд на базе контроллера со структурой, изображенной на рис. 1 [2], [3].

Основным элементом контроллера является микропроцессор ADUC842 с ядром 8051, работающий на тактовой частоте 16 МГц. К ADUC842 подключены [2], [3]:

- по шине I2C микросхема PCF8591 с четырьмя каналами восьмиразрядного АЦП и одним каналом восьмиразрядного ЦАП со стабилизированным опорным напряжением 2,5 В, предназначенные для обработки сигналов аналоговых датчиков и управления аналоговыми исполнительными устройствами;

- по параллельной восьмиразрядной шине посредством цифрового мультиплекса 74АНС139 четыре входных буфера типа 74АНСТ245 и два выходных регистра типа 74F574, предназначенные для обработки сигналов цифровых датчиков и управления цифровыми исполнительными устройствами;

- посредством интерфейса USART адаптеры связи стенда с компьютером (USB-адаптер CP2103) и другими аналогичными контроллерами (адаптер ADM1485 шины RS-485).

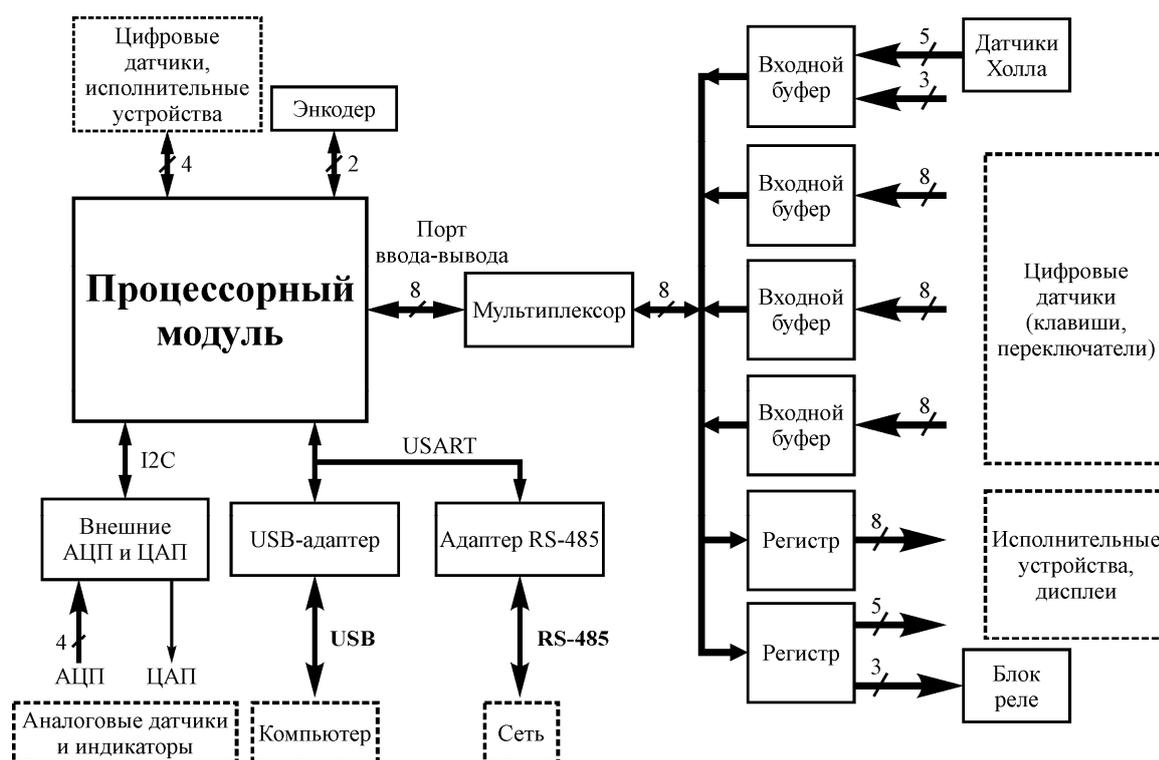


Рис. 1. Структура базового контроллера аппаратно-программного комплекса

Кроме базового управляющего контроллера, в стенд входят датчики Холла, энкодер, три миниатюрных реле, датчики цифрового (клавиатура, переключатели, тумблеры, клавишный регулятор) и аналогового типов (переменный резистор), а также цифровые (светодиодный дисплей и отдельные светодиоды) и аналоговые (стрелочный индикатор) исполнительные устройства. Все перечисленные выше датчики и исполнительные устройства, за исключением клавишного регулятора, расположены на лицевой панели корпуса стенда [4].

Диагностика монтажа средств автоматизации, согласно схемному заданию, производится путем методичного тестирования внешних монтажных цепей, т. е. цепей соединения внешних датчиков и исполнительных устройств с выводами контроллера. Для этого стенд подключается к USB-порту компьютера, запускается разработанная авторами диагностическая программа, пользовательский интерфейс которой представлен на рис. 2, и анализируется работа стенда в соответствии с заданием по схемотехнике. При этом при работе со стендом отсутствует необходимость во внешнем питании. Все взаимодействие и питание стенда осуществляется посредством шины USB, выступающей в данном случае в качестве диагностической.

Разработанный аппаратно-программный комплекс поддерживает трехуровневую архитектуру системы автоматизации с интерфейсом I2C на нижнем уровне. Благодаря наличию в составе стенда адаптера интерфейса RS-485 (рис. 1), одной из возможностей комплекса является создание сети с шинной архитектурой. Это позволяет детальнее сформировать у обучаемого знания о принципах работы интерфейса RS-485, основах сетевых технологий как раздела системотехники, в изучении возможных направлений информационных потоков внутри сети, оптимизации распределения принятия решений между ее узлами в задачах управления, оценке пропускной способности каналов и проведении диагностики монтажа всей сети.



Рис. 2. Интерфейс пользователя программы диагностики монтажа микропроцессорных средств автоматизации

Таким образом, методика обучения схмотехнике и диагностике монтажа микропроцессорных средств автоматизации заключается в последовательности «заданные принципиальные схемы → монтаж → компьютерная диагностика монтажных соединений». То есть в соответствии с заданными принципиальными схемами обучаемый подключает к контроллерам сети датчики и исполнительные устройства, после чего проверяет правильность монтажа посредством компьютерной программы диагностики, позволяющей тестировать все аналоговые и цифровые порты ввода-вывода отдельного станда сети.

Разработанный аппаратно-программный комплекс в составе микропроцессорного станда и пакета прикладных программ позволяет повысить качество и ускорить процесс изучения схмотехники цифровых систем, а также овладеть технологией диагностики монтажа электрических схем микропроцессорных средств автоматизации. Комплекс может быть использован в лабораторном практикуме по дисциплинам, связанным с электроникой, системотехникой, автоматизацией технологических процессов и производств.

Литература

1. Монтаж, наладка и эксплуатация систем автоматизации : крат. конспект лекций. Ч. 1. Организация и производство монтажных работ / сост. В. В. Гурин. – Минск : Ротапринт БАТУ, 2000. – 44 с.
2. Ролич, О. Ч. Гибкое модульное средство для конструирования электронного тренажера мобильной сельскохозяйственной техники / О. Ч. Ролич // Каталог научно-технических разработок университета / сост.: Е. В. Галушко, Н. И. Семкин, В. Г. Леван ; под общ. ред. М. А. Прищепова. – Минск : БГАТУ, 2009. – С. 65.
3. Галушко, Е. В. Технология создания электронной системы комплексного тренажера энергоснабщенной сельскохозяйственной техники / Е. В. Галушко, О. Ч. Ролич, К. М. Шестаков // Актуальные проблемы повышения квалификации и переподготовки кадров агропромышленного комплекса : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (24–26 нояб. 2010 г., г. Минск) : в 2 ч. Ч. 1. – Минск : БГАТУ, 2010. – С. 117–120.
4. Учебный стенд диагностики микропроцессорных систем [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.batu.edu.by/content/uchebnyi-stend-diagnostiki-mikroprotsessornykh-sistem>. – Дата доступа: 14.03.2011.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В СВАРОЧНОМ
ПРОИЗВОДСТВЕ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

О. А. Сорокина

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научные руководители: Т. В. Алферова, С. Г. Жуковец

Сварка на сегодняшний день является наиболее широко распространенным технологическим процессом, который применяется практически во всех отраслях промышленности, при монтаже, ремонтных работах, а также в быту. Для решения современных технологических задач требуется высококачественное профессиональное сварочное оборудование, например, для дуговой сварки могут применяться: сварочные трансформаторы, выпрямители, агрегаты и инверторы.

Сварочные трансформаторы, несмотря на относительно невысокую стоимость, требуют применения специальных электродов для переменного тока, имеют ступенчатые регулировки параметров, низкий КПД, плохие сварочные качества. Трансформатор потребляет значительную реактивную мощность, нагрузка питающей сети в нем несимметрична, поскольку все сварочные трансформаторы однофазные.

Преобразователи и сварочные агрегаты также нельзя считать совершенными источниками, поскольку вращающиеся части генератора создают шум и требуют сложного технического обслуживания.

С развитием полупроводниковой техники в 50-х гг. появились сварочные выпрямители, которые имели улучшенные технические характеристики, однако они по-прежнему оставались тяжелыми, громоздкими, инерционными аппаратами и имели малый КПД.

Наиболее совершенным оборудованием для сварки, способным обеспечить достойную замену морально и технически устаревшим трансформаторам и выпрямителям прошлых лет, являются инверторные сварочные аппараты.

Конструктивная схема инверторных аппаратов значительно отличается от своих предшественников. Принцип действия инверторного сварочного аппарата (рис. 1) основан на том, что сетевое напряжение частотой 50 Гц, пройдя через фильтр, преобразуется до частоты 25–50 кГц, благодаря чему появляется возможность замены крупногабаритных силовых трансформаторов на высокочастотные, резко снижающие массогабаритные показатели. Применение принципа широтно-импульсной модуляции обеспечивает удобное и точное управление силой сварочного тока и другими параметрами, а также обеспечивает стабильное и устойчивое горение дуги.

Современный инверторный сварочный аппарат потребляет в 2–3 раза меньшую мощность по сравнению с выпрямителями традиционной конструкции, имеет КПД 85–90 %, малые габариты и вес, высокую электробезопасность.

В настоящее время потребовалось создание нового поколения источников питания сварочной дуги, которые должны были обеспечивать высокое быстродействие, гораздо меньшее потребление энергии, иметь широкий диапазон регулирования режимов сварки, а также универсальные внешние статические характеристики. Тогда и вошли в обиход инверторные источники питания, которые с середины 80-х гг. начали активно вытеснять традиционные.

В сварочном производстве экономия электроэнергии достигается в основном за счет использования инверторных источников питания сварочной дуги при механи-

зированной сварке в среде углекислого газа и смеси аргон–углекислый газ вместо сварочных выпрямителей серии ВДУ.

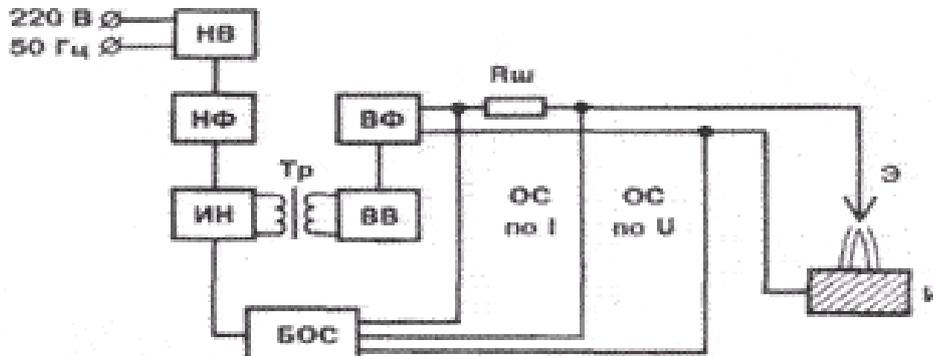


Рис. 1. Блок-схема инверторного источника питания для дуговой сварки

Основным элементом такого преобразователя является инвертор – электронный блок, преобразующий постоянный ток в переменный повышенной частоты.

Переменный ток промышленной частоты 50 Гц поступает на высокочастотный выпрямитель НВ, а затем на низкочастотный фильтр НФ. Полученный постоянный ток принудительно инвертируется (преобразуется) коммутированным инвертором ИН в переменный частотой 20–50 кГц, после чего трансформатором Тр достигаются величины, необходимые для сварки.

Высокочастотный выпрямитель ВВ выпрямляет переменный ток. Пройдя через высокочастотный фильтр ВФ, ток поступает на дугу.

Ожидаемая экономия электроэнергии при использовании инверторных полуавтоматов достигает порядка 45 %.

Необходимо отметить, что применение инверторных полуавтоматов, помимо экономии электроэнергии, дает значительное повышение качества сварных швов и снижение расхода сварочной проволоки за счет меньшего разбрызгивания металла в процессе сварки.

Для замены устаревших ламповых генераторов промышленность освоила выпуск новых полупроводниковых установок для индукционной наплавки ТВЧ (рис. 2). В отличие от старых, в которых при включенной установке индуктор работал постоянно, т. е. потреблял максимальную мощность, в новых установках включение индуктора происходит только в период производства наплавки, в остальное время (нанесение шихты, поступление детали в зону индуктора) установка работает в режиме холостого хода. Кроме того, при сохранении прежней производительности процесса, рабочей частоты и напряжения, развиваемая установкой мощность несколько ниже, чем у установок предыдущего поколения.

Наплавкой называют процесс нанесения на поверхность детали слоя расплавленного металла или сплава. Наплавку применяют для восстановления размеров изношенных деталей, а также повышения износостойкости поверхностей трения.

Сущность индукционной наплавки заключается в следующем. На изношенную поверхность деталей наносят специальную шихту в виде пасты или прессованных брикетов, которую затем расплавляют в индукторе токами высокой частоты, в результате чего образуется слой наплавленного металла.

Установки ТВЧ позволяют выполнять широкий спектр работ: в кузнечном производстве – индукционный нагрев заготовок под штамповку и пластическую деформацию; термообработку ТВЧ деталей машиностроения; термообработку сварных швов индукционным методом; индукционную пайку инструмента и твердосплавных пластин; индукционную наплавку упрочняющих колец; поверхностную закалку ТВЧ валов, шестерен, осей, втулок, зубчатых колес, звездочек и т. д.

При этом нагреватель может использоваться для нагрева до высоких температур различных металлических заготовок (полоса, круг, квадрат) и для плавки цветных металлов в тигле (серебро, золото).



Рис. 2. Индукционный нагреватель для высокочастотного нагрева заготовок

В настоящее время на ряде промышленных предприятий широко используются порталные установки лазерной резки, применение которых позволяет повысить коэффициент использования металла с 0,6 до 0,8 за счет комплексного его раскроя. Данные установки могут применяться в различных отраслях промышленности (автомобильной; авиа-, двигателе- и судостроительной; электротехнической, нефтехимической; машиностроении пищевой и легкой промышленности; производстве бытовой техники, приборостроении и т. д.), а также для поверхностной обработки металлов, нанесения рекламных узоров, алмазной сварки и т. д.

В зависимости от мощности лазерного генератора толщина резки нержавеющей стали достигает 12 мм, углеродистой стали – 25 мм, древесных формованных изделий – 30 мм, акриловых формованных изделий – 40 мм.

Конструкция установок позволяет выдерживать давление воздуха до 2,0 МПа (для G3015HD – до 2,3 МПа), что значительно улучшает показатели резки материалов, таких как, например, нержавеющая сталь. Система, управляющая подачей воздуха, – импортного производства.

Высокая точность и скорость (G3015 – до 60 м/мин; G3015HD – до 120 м/мин) перемещения достигаются за счет использования импортного редуктора перемещения и рельсовых направляющих импортного производства с высокой степенью линейности.

Оптическая система машины включает в себя световодную дорожку закрытого типа и набор легко заменяемых линз, что обеспечивает их чистоту и долговечность.

Следящая система бесконтактного типа отслеживает и поддерживает высоту режущей головки на определенном расстоянии от поверхности обрабатываемого

листа, исключая тем самым возможное столкновение головки с поверхностью пластины и предотвращая при этом соответственно ее возможное разрушение.

Система быстрой смены линз с разным фокусным расстоянием (5'' и 7,5'' линзы) делает возможным резку неоднородного по толщине материала, значительно повышая при этом производительность.

Система ЧПУ – профессионально ориентированная на лазерную резку немецкая система RA8000. Панель управления имеет современный вид и удобна в применении.

Рельсовые направляющие оснащены кожухами, снижающими уровень их пылевого загрязнения и соответственно продлевающими срок службы механизмов перемещения.

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

А. А. Алферов

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Н. В. Грунтович

Энергетические сети являются связующими звеньями промышленности, однако над их надежностью редко задумываются. Зачастую предприятия знают только одну сторону: либо ток есть, либо его нет. Едва ли кто-нибудь задается вопросом, насколько действительно хорошо качество сети. При ближайшем рассмотрении становится понятно, к каким тяжелым последствиям в работе могут приводить высшие частоты. Что же такое гармоника? Гармоника – это сумма определенного количества частот, которые могут быть добавлены к синусоиде 50 Гц для получения существующей формы тока или напряжения. Соответственно при изменении их амплитуды, фазы и частоты изменяется кривая тока или напряжения как результат синтеза гармоник.

С каждым годом на предприятиях возрастает число электроприемников генерирующих высшие гармоники тока в сеть, к ним относятся: компьютерные сети; статические преобразователи (выпрямители, системы бесперебойного питания, тиристорные регуляторы, импульсные источники питания и т. д.); газоразрядные осветительные устройства и электронные балласты; электродуговые печи постоянного и переменного тока; сварочные аппараты; устройства с насыщающимися электромагнитными элементами; электродвигатели переменного тока с регулируемой скоростью вращения; специальные медицинские приборы и т. д.

В тех случаях, когда мощность нелинейных электропотребителей не превышает 10–15 % каких-либо особенностей в эксплуатации системы электроснабжения, как правило, не возникает. При превышении указанного предела следует ожидать появления различных проблем в эксплуатации, а также последствий, причины которых не являются очевидными. В зданиях, имеющих долю нелинейной нагрузки свыше 25 %, сразу возникают проблемы нарушения нормальной эксплуатации оборудования.

Высшие гармонические составляющие, присутствующие в кабельных линиях нелинейных электропотребителей, приводят к негативным, а иногда и катастрофическим последствиям:

- возможен перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий вследствие их перегрузки токами третьей гармоники;
- гармоники, генерируемые нелинейной нагрузкой, создают дополнительные потери в кабельных линиях;
- ускоренное старение изоляции проводов и кабелей.

Причина негативного влияния высших частот на кабельные линии состоит в том, что при их наличии в сети происходит искажение кривой питающего напряжения, что видно при разложении ее на составляющие (рис. 1).

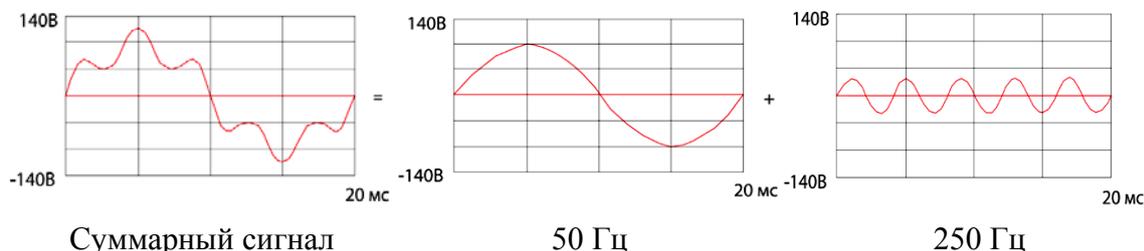


Рис. 1. Разложение питающего напряжения на составляющие

Из анализа рис. 1 следует, что при присутствии в питающем напряжении только фундаментальной гармоники частотой 50 Гц амплитудное значение напряжения было бы значительно ниже.

Высшие гармоники тока, кратные трем (т. е. 3, 9, 15, 21 и т. д.), определяющие высокое значение коэффициента амплитуды и генерируемые однофазными нагрузками, имеют специфическое результирующее воздействие в трехфазных системах.

В сбалансированной (симметричной) трехфазной системе гармонические (синусоидальные) токи во всех трех фазах сдвинуты на 120 градусов по отношению друг к другу, и в результате сумма токов в нейтральном проводнике равна нулю. Следовательно, не возникает и падения напряжения на проводнике нейтрали в кабеле.

Это утверждение остается справедливым для большинства гармоник.

Однако некоторые из них имеют направление вращения вектора тока в ту же сторону, что и основная гармоника (первая, «фундаментальная», 50 Гц), т. е. они имеют прямую последовательность. Другие же вращаются в обратном направлении и, следовательно, имеют обратную последовательность. Это относится к нечетным гармоникам, кратным третьей:

$$n = 3(2k + 1), \text{ где } k = 0, 1, 2, \dots, n.$$

В трехфазных цепях они сдвинуты на 360 градусов друг к другу, совпадают по фазе и образуют нулевую последовательность. Нечетные гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали (рис. 2).

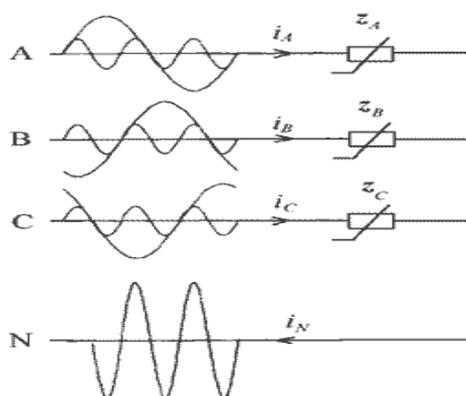


Рис. 2. Графическая интерпретация накопления нечетных гармоник, кратных трем в нулевом проводнике

Потери электроэнергии при наличии в сети высших гармоник связаны с тем, что при увеличении частоты омическое сопротивление кабельной линии возрастает (рис. 3), что приводит к увеличению потерь в проводнике, а сопротивление изоляции наоборот снижается, следовательно, увеличиваются токи утечки.

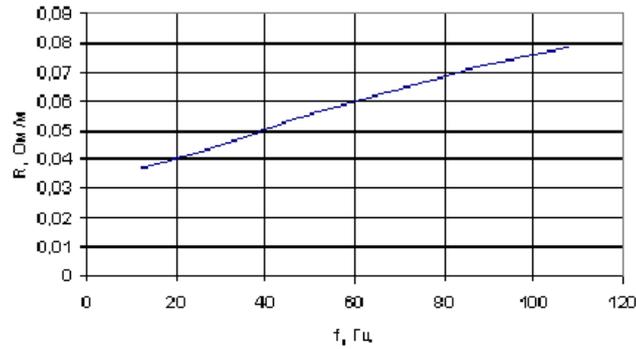


Рис. 3. Зависимость омического сопротивления от частоты

В рамках проводимого энергетического аудита на ОАО «Красносельскстройматериалы» были проведены замеры коэффициентов несинусоидальности кабеля, питающего электродвигатель второй печи обжига и по снятым данным установлено, что коэффициенты 12, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 30, 32, 33, 34, 36, 38, 39 и 40 гармонических составляющих напряжения значительно превышают допустимые значения (рис. 4).

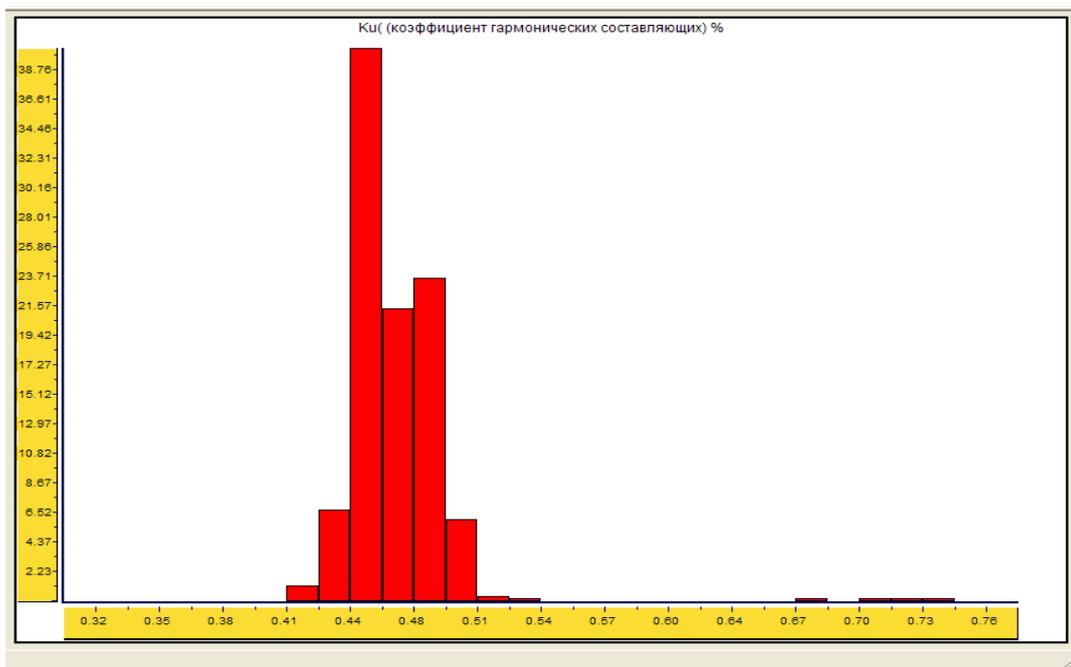


Рис. 4. Гистограмма коэффициента 33 гармонической составляющей напряжения фазы С на шинах 0,4 кВ кабеля, питающего электродвигатель второй печи

По данным измерений коэффициент несинусоидальности изменяется в пределах от 0,41–0,75, следовательно, в 2–4 раза превышает нормируемое значение, приведенное в таблице.

Нормы коэффициентов несинусоидальности

Нечетные гармоники, не кратные 3, при $U_{ном}$, кВт					Нечетные гармоники, кратные 3**, при $U_{ном}$, кВт					Четные гармоники при $U_{ном}$, кВт				
n^*	0,38	6–20	35	110–330	n^*	0,38	6–20	35	110–330	n^*	0,38	6–20	35	110–330
5	6,0	4,0	3,0	1,5	3	5,0	3,0	3,0	1,5	2	2,0	1,5	1,0	0,5
7	5,0	3,0	2,5	1,0	9	1,5	1,0	1,0	0,4	4	1,0	0,7	0,5	0,3
11	3,5	2,0	2,0	1,0	15	0,3	0,3	0,3	0,2	6	0,5	0,3	0,3	0,2
13	3,0	2,0	1,5	0,7	21	0,2	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,3	0,3	0,2
17	2,0	1,5	1,0	0,5	>21	0,2	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,3	0,3	0,2
19	1,5	1,0	1,0	0,4						12	0,2	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,0	1,0	0,4						>12	0,2	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1,0	1,0	0,4										
>25	0,2+ +1,3× ×25/n	0,2+ +0,8× ×25/n	0,2+ +0,6× ×25/n	0,2+ +0,2× ×25/n										

* n – номер гармонической составляющей напряжения.

** Нормально допустимые значения, приведенные для n , равных 3 и 9, относятся к однофазным электрическим сетям. В трехфазных трехпроводных электрических сетях эти значения принимают вдвое меньшими приведенных в таблице.

Таким образом, наличие высших гармоник в электрических сетях предприятий приводит к перегреву кабельных линий, увеличению потерь в них и к значительному сокращению срока службы изоляции.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВОГО ТРИГЕНЕРАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА С ЛОКАЛЬНЫМИ ОЧИСТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ В МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

К. О. Шкуренко, Н. Ю. Палкина

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научные руководители: Т. В. Алферова, В. В. Бахмутская

В настоящее время модернизация энергоснабжения на предприятиях на базе когенерационных или тригенерационных установок является одним из наиболее эффективных и современных направлений снижения энергетической составляющей себестоимости выпускаемой продукции. Установка когенерационных модулей на базе газопоршневых двигателей позволяет организовать максимально эффективную и гибкую схему энергоснабжения предприятия.

Для повышения эффективности энергоснабжения предприятия предлагается строительство на территории ОАО «Молочные продукты» тригенерационного комплекса электрической мощностью порядка 1403 кВт для одновременной выработки электрической, тепловой энергии и холода.

Схема тригенерационного комплекса на базе газопоршневого двигателя представлена на рис. 1.

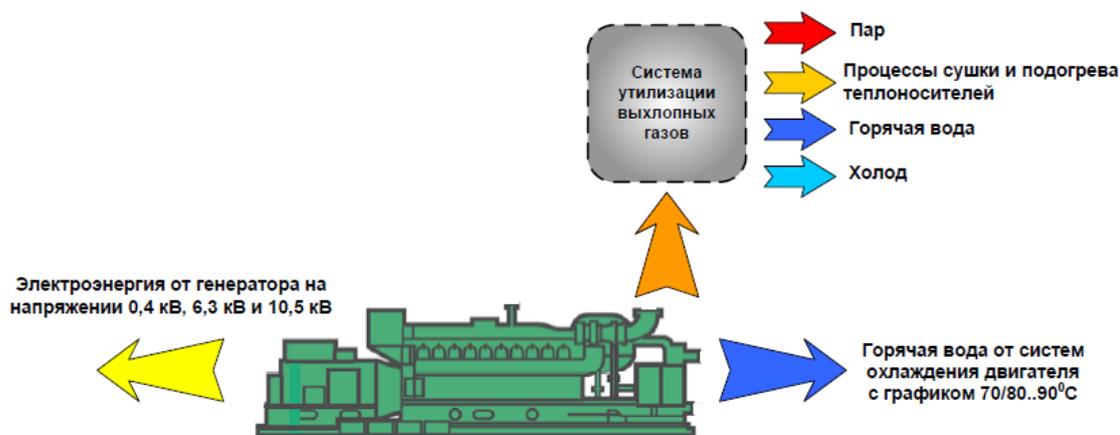


Рис. 1. Схема тригенерационного комплекса

Электрическая энергия отпускается от генератора на напряжениях 0,4, 6,3 и 10,5 в зависимости от требований электрической схемы предприятия. Тепловая энергия отпускается от когенерационного модуля двумя приблизительно равными потоками:

- низкопотенциальным потоком от систем охлаждения двигателя – охлаждение масла, охлаждение воды рубашки двигателя и охлаждение газозвдушной смеси в виде горячей воды с температурой вход/выход – 70/80...90 °С, которую можно использовать для покрытия нагрузок предприятия в горячей воде (нагрузки отопления, вентиляции, ГВС, технологическая нагрузка в горячей воде, для генерации холода в виде холодной воды с температурой +5...+7 °С и т. п.);

- высокопотенциальный поток выхлопных газов – выхлопные газы выходят из коллекторов двигателя с температурой 400...550 °С, что позволяет использовать тепловую энергию данного потока на различные цели в зависимости от типа системы утилизации: подогрев горячей воды или любого другого теплоносителя, генерация пара требуемого давления, генерация холода в виде холодной воды с температурой +5...+7 °С, использование потока выхлопных газов в качестве сушильного агента или окислителя и т. п.

В качестве электрогенерирующего оборудования предлагается когенерационная установка JMS 420 GS-N.LC производства GE Jenbacher. Модуль газопоршневого агрегата предлагается установить совместно с паровым односекционным котлом-утилизатором VAPOR, применение которого позволит генерировать пар с расходом порядка 682 кг/ч. Для генерации холодной воды с температурами 7/12 °С предлагается установить одноступенчатую абсорбционную холодильную машину BROAD BDH-65 хладопроизводительностью 663 кВт на горячей воде.

Потребление газа тригенерационным комплексом составляет от 3800 до 5000 м³ в сутки. Для обеспечения тригенерационного комплекса газом предлагается строительство локальных очистных сооружений очистки производственных и бытовых стоков предприятия ОАО «Молочные продукты». Основным субстратом для работы биогазового комплекса будут являться как сточные воды предприятия, так и сыворотка. Получаемый путем сбраживания биомассы биогаз будет использован для работы когенерационного комплекса с целью получения электрической энергии и холода.

Ориентировочные мощности составят:

- производительность локальных очистных сооружений – 2500 м³/сут;
- биогазовый комплекс – 5307 нм³/сутки биогаза.

На сегодняшний день предприятие ОАО «Молочные продукты» не имеет собственных очистных сооружений. При превышении требуемых нормируемых показателей по сточным водам к предприятию применяются штрафные санкции.

Сброс сыворотки, образующейся в процессе производственной деятельности предприятия, также осуществляется на сегодняшний день в городскую канализационную сеть.

Основные технико-экономические показатели тригенерационного комплекса представлены в таблице.

Основные технико-экономические показатели проекта

Параметр	Единица измерения	Без проекта	С учетом проекта
Число часов работы очистных сооружений, биогазового комплекса (среднее)	час/год	–	8040
Очистные сооружения и биогазовый комплекс	шт.	–	1
Количество субстрата (сточные воды + сыворотка)	м ³ /сут	2 600	2600
– сточных вод	тонн/сут	2 500	2500
– сыворотка	тонн/сут	100	100
Производство биогаза	нм ³ /сут	–	5307
	нм ³ /год	–	1777845
Теплотворная способность биогаза	кВт · ч/м ³	–	6,0
	ккал/м ³		5160,0,0
Энергетический потенциал вырабатываемого биогаза	тыс. кВт · ч/год	–	10667,1

Проблема доведения характеристик сточных вод до норм сброса в канализацию может быть решена путем применения инновационной технологии анаэробной ферментации высококонцентрированных сточных вод ООО «PENECO». Биогазовая установка для переработки сыворотки и сточных вод позволяет эффективно утилизировать отходы и получить большое количество биогаза.

Биогазовая установка состоит из модифицированного реактора со взвешенным слоем ила. Специально разработанная конструкция реактора позволяет обеспечить перемешивание взвешенного слоя ила и предотвратить образование плавающей корки. Эти свойства имеют исключительное значение для установки, поскольку в поступающем сырье имеются частицы жира и сырная пыль, что приводит в традиционных реакторах со взвешенным слоем к отложениям и образованию плавающей корки.

Преимуществами анаэробной технологии очистки с добычей биогаза являются:

- высокая степень очистки по ХПК/БПК;
- малый прирост избыточного активного ила в метантенке;
- улучшение водоотдающих свойств сброженного осадка;
- получение безопасного в санитарном отношении осадка;
- производство большого количества биогаза;
- автономность, энергетическая независимость предприятия;
- сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу;

- длительный срок службы оборудования;
- высокий уровень автоматизации;
- низкие эксплуатационные затраты;
- короткий срок окупаемости.

При этом произведенный биогаз является альтернативой природному газу и может использоваться для внутренних нужд предприятия.

Анаэробные системы биологической очистки «PENECO» с добычей биогаза состоят из усреднительной емкости, реактора, хранилища биогаза и аварийной газовой свечи. Высококонтрированные стоки усредняются, доводятся до нужной температуры и подаются в предварительный реактор. В нем проходят этапы, предшествующие метанообразованию, т. е. происходит процесс приготовления стоков для подачи в метановый реактор.

Подготовленные стоки насосами подаются в метантенк, в котором в результате жизнедеятельности бактерий происходит разложение органики и образуется биогаз. Метановый реактор является газонепроницаемым, полностью герметичным резервуаром из нержавеющей стали или железобетона. Для поддержания стабильной температуры он оборудуется внутренней системой подогрева. Для уменьшения тепловых потерь предусмотрена наружная теплоизоляция. Управление работой всех очистных сооружений производится по командам от центрального программного модуля в программно-временном режиме.

После анаэробной стадии очистки уровень загрязнений в сточных водах по ХПК снижается в 8–10 раз и они могут быть направлены на биологические очистные сооружения для доочистки и последующего сброса в водоем. Образующийся экологический чистый осадок можно использовать на полях в качестве удобрения. Полученный биогаз состоит примерно на 50–70 % из метана, 30–50 % диоксида углерода и 1 % различных примесей. Биогаз накапливается и усредняется по концентрации и давлению в газгольдере. После чего очищается и подается на когенерационную установку. В результате ферментации в анаэробном реакторе происходит превращение органических загрязнений стоков в газовую составляющую. При этом концентрация ХПК, БПК уменьшается в 8–10 раз. После анаэробной стадии очистки стоки могут быть направлены на биологические (компактные) очистные сооружения. Уровень загрязнений стоков после такой очистки соответствует нормам сброса в водные объекты. Образовавшийся в результате анаэробной очистки стоков биогаз имеет содержание метана до 70 %.

Таким образом, применение энергоэффективной тригенерационной установки позволяет одновременно вырабатывать электрическую, тепловую энергию и холод. Для обеспечения тригенерационного комплекса газом предлагается строительство локальных очистных сооружений очистки производственных и бытовых стоков ОАО «Молочные продукты». Внедрив анаэробные системы биологической очистки, предприятие способно полностью обеспечить себя дешевой и качественной энергией, полученной при утилизации отходов собственного производства.

АНАЛИЗ СВОТТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВОТА

Т. Н. Савкова

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Т. В. Алферова

Проблемы рациональной организации освещения определяют выбор источника искусственного света. Использование того или иного источника света в основном

определяется его светотехническими характеристиками: спектром излучения, световым потоком, световой отдачей, цветовой температурой и индексом цветопередачи.

Современные источники света отличаются большим разнообразием, однако их можно разделить на три основные группы: тепловые – лампы накаливания (ЛН), галогенные лампы накаливания (ГЛН); газоразрядные – люминесцентные (ЛЛ), компактные люминесцентные (КЛЛ), индукционные (ИЛ), ртутные (ДРЛ), натриевые (ДНат), металлогалогенные (ДРИ) и др.; светоизлучающие диоды – светодиоды (СД).

Газоразрядные источники света представляют собой большую группу ламп, в которых видимое излучение (свет) создается электрическим разрядом в газах или парах металлов, причем это излучение в большинстве случаев имеет разный цвет. Как известно, в люминесцентных лампах первичное ультрафиолетовое излучение преобразуется в видимый свет посредством люминофора. При этом около 1 % УФ пробивается наружу, что обычно не представляет проблемы. По сравнению с лампами накаливания люминесцентные лампы имеют ряд преимуществ: в 4–5 раз большая светоотдача, в 10–15 раз дольше срок службы, спектр излучения люминесцентных источников света больше приближается к привычному для глаза человека солнечному свету.

Однако компактные люминесцентные лампы, применяемые в настольных светильниках, находятся так близко от человека, что пренебрегать УФ-лучами уже нельзя. При длительном воздействии они могут вызвать раздражение кожи, обострить имеющиеся кожные заболевания и спровоцировать новые. Компактные люминесцентные лампы могут давать теплый белый свет (цветовая температура 2700 К), холодный белый (4200 К) и дневной свет (6500 К). Спектр такой лампы линейчатый и состоит из полос в видимой области (рис. 2). Это приводит не только к неправильной цветопередаче, но и к повышенной усталости глаз. У компактных люминесцентных ламп пульсации яркости, досаждавшие в старых лампах, сведены на нет.

Индукционная лампа – электрический источник света, принцип работы которого основан на электромагнитной индукции и газовом разряде для генерации видимого света. Основным отличием от существующих люминесцентных газоразрядных ламп является безэлектродная конструкция – отсутствие термокатодов и нитей накала, что значительно увеличивает срок службы. Индукционная лампа обладает высоким уровнем светового потока после длительного использования и при одинаковой освещенности потребляет на 30–50 % меньше электроэнергии, чем металлогалогенная лампа, на 40–60 % меньше, чем натриевая лампа, в 10–13 раз эффективнее, чем лампа накаливания. Отсутствие мерцаний определяет рабочая частота возбуждения газового разряда, которая составляет 190–250 кГц или единицы мегагерц в зависимости от моделей.

Светодиод, или светоизлучающий диод – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом или контактом металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, его спектральные характеристики зависят от химического состава использованных в нем полупроводников.

Светодиоды являются энергосберегающими источниками света, и их использование позволяет существенно экономить электроэнергию по сравнению с другими лампами.

Светодиоды обладают высокой светоотдачей. Так, обычная лампа накаливания дает до 10 люмен на 1 Вт потребленной энергии, светодиоды – 50 люмен и выше. Сверхяркие светодиоды обеспечивают сильный световой поток, поэтому модули из светодиодов могут применяться не только в декоративных целях, но и для освещения. Чистота цвета излучения светодиодов определяет возможность получения любого цвета и оттенка излучения. Например, чистый синий, чистый белый, оранжевый, сине-зеленый и

десятки других чистых цветов и оттенков, чего нельзя получить, используя лампы накаливания. Малый угол излучения светодиодов – может быть как достоинством, так и недостатком. Светодиоды почти не имеют в излучаемом спектре инфракрасные и ультрафиолетовые составляющие, поэтому значительно эффективнее энергетически, чем тепловые излучатели.

Так как световой поток оценивает глаз человека, то этот поток зависит от кривой чувствительности глаза на разных длинах волн видимого света. Очевидно, что излучение одной и той же мощности воспринимается глазом как более интенсивное, если в его спектре больше зеленого света.

Спектральные характеристики распределения светового потока различных источников света представлены на рис. 1–6.

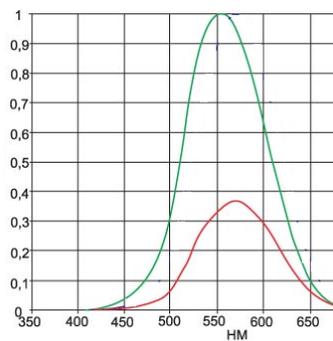


Рис. 1. Для ГЛН с $T = 2780$ К

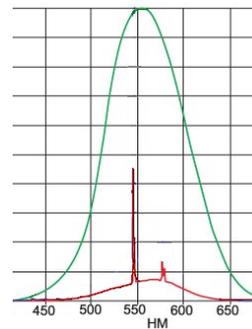


Рис. 2. Для КЛЛ с $T = 6400$ К

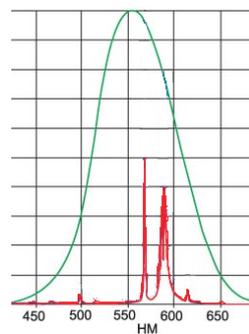


Рис. 3. Для ДНаТ

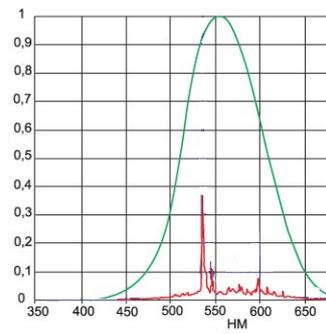


Рис. 4. Для ДРИ с $T = 6700$ К

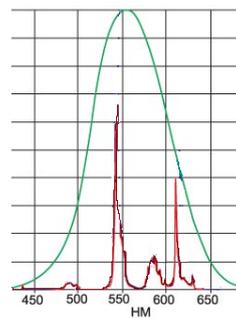


Рис. 5. Для ЛЛ с $T = 4000$ К

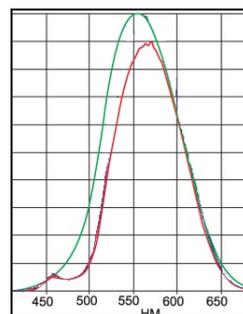


Рис. 6. Для белого светодиода с $T = 3200$ К

На рис. 1–6 за 100 % принята условная энергия, ограниченная указанными диапазонами, которая имеется у кривой видности глаза $V(\lambda)$, т. е. все, что может увидеть глаз. На рисунках изображены соответствующие условные энергии (интегралы под функциями относительного спектрального распределения плотности энергетической яркости) различных источников излучения. Спектры излучения этих источников свернуты с $V(\lambda)$ и пересчитаны в процентном отношении к энергиям тех же диапазонов длин волн у $V(\lambda)$. Таким образом, получается подробная картина распределения энергий источников по длинам волн, по которой можно судить о полноте заполнения всего видимого диапазона энергией излучения, а по отдельным его участкам – о том, насколько близко это излучение к идеальному, содержащему максимум энергии в спектре.

Следует отметить, что лампа накаливания, например, «не добирает» практически половину диапазона. И это видно на рис. 1, где приведено спектральное распределение излучения галогенной лампы.

Металлогалогенная лампа (рис. 4) имеет высокий индекс цветопередачи только благодаря тому, что обладает довольно равномерным, хотя и низким по весовой доле распределением энергии во всем диапазоне. Большое отличие спектра ее излучения от солнечного, близкого по цветовой температуре, состоит в наличии очень узких пиков (полос) высокой интенсивности, вместе с тем обладающих малой интегральной энергией. Тоже характерно и для люминесцентных ламп (рис. 2, 5), спектр которых еще скуднее и на количество пиков, и по распределению их относительно $V(\lambda)$.

Как и «полагается», самую плохую позицию с точки энергетики, воспринимаемой глазом, занимает натриевая лампа ДНат (рис. 3), которая из-за своего спектрального состава излучения вообще не может быть приписана к белому цвету, и поэтому ее нельзя адекватно сравнить с приведенными примерами. Однако именно желтый свет, от спектральных линий натрия наиболее популярен у нас на улицах. Имея практически самый высокий показатель эффективности, свет от ДНат действительно экономически наиболее выгоден. Только следует помнить, что при этом он имеет минимальный индекс цветопередачи (R_a) (если вообще можно применять к такому спектру этот параметр). А по колориметрическим показателям свет от ДНат попадает именно в тот промежуток между характеристиками чувствительности красных и зеленых колбочек, поэтому для равенства восприятия с излучением белого цвета, больше заполняющего интеграл относительно $V(\lambda)$ и требуется его большая интенсивность, а следовательно, и потребление энергии. Из приведенного на рис. 1–6 списка источников света, используемых в освещении, только лишь у светодиода, выполненного по схеме «синий кристалл – люминофор», можно наблюдать значительное приближение описанных величин к кривой видности глаза, по крайней мере, относительно других источников. Спектр излучения белых светодиодов с различными коррелированными цветовыми температурами, особенно низкими (рис. 6), имеет очень высокий процент соответствия $V(\lambda)$ на протяженном участке видимого диапазона, достигая 95 % в области желтого, что говорит о его непрерывности и высокой степени подобия основному естественному источнику. Таким образом, белые светодиоды, используемые для освещения, не только достигли своей эффективности по сравнению с традиционными лампами, но и превзошли их в части комфортности восприятия глазом.

В результате сравнительного анализа светотехнических характеристик существующих источников света (таблица), наилучшими характеристиками обладают индукционные лампы и светодиоды, что определяет перспективность их применения в будущем.

Светотехнические характеристики различных источников света

Тип лампы	ЛН	ГЛН	ЛЛ	КЛЛ	ДРИ	ДРЛ	ДНАТ	ИЛ	СЛ
Мощность, Вт	200	250	80	25	250	250	250	80	180
Световой поток, лм	3150	5000	4320	2000	19000	13000	25000	6400	11500
Световая отдача, лм/Вт	15	20	54	80	76	60	100	80	107
Коэффициент пульсации, %	нет	нет	23–43	1–3	30	60	70	нет	нет
Цветовая температура, К	2300–2900	3000	2700–7700	2700–6400	3000–20000	3800	2000	2700–6500	6000–8500
Индекс цветопередачи, Ra	100	100	30–70	60–98	80–95	42	30	>80	>80

Литература

1. Кнорринг, Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. – Л., 1981. – 288 с. : ил.
2. Никифоров, С. Реальный цвет и виртуальный индекс его передачи / С. Никифоров // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 1. – С. 28–38.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Н. М. Ходанович, А. Ю. Шутов

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Беларусь

Научный руководитель Д. И. Зализный

Ранее нами была разработана математическая модель, в которой тепловые процессы в одножильном силовом кабеле описаны следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} C_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dt} + \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_1} = P; \\ C_2 \cdot \frac{d\theta_2}{dt} + \frac{\theta_2 - \theta_1}{R_1} + \frac{\theta_2 - \theta_3}{R_2} = 0; \\ C_3 \cdot \frac{d\theta_3}{dt} + \frac{\theta_3 - \theta_2}{R_2} + \frac{\theta_3 - \theta_4}{R_3} = 0; \\ C_4 \cdot \frac{d\theta_4}{dt} + \frac{\theta_4 - \theta_3}{R_3} + \frac{\theta_4 - \theta_5}{R_4} = 0, \end{cases}$$

где $\theta_1 \dots \theta_5$ – соответственно температуры однородных тел: токоведущей жилы, основной изоляции жилы, защитной оболочки, внутренней и внешней окружающих сред ($^{\circ}\text{C}$); $C_1 \dots C_4$ – теплоемкости соответствующих однородных тел $\left(\frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{^{\circ}\text{C}}\right)$;

$R_1 \dots R_4$ – тепловые сопротивления соответствующих однородных тел $\left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}\right)$; P – потери активной мощности в токоведущей жиле (Вт).

Были проведены экспериментальные исследования тепловых процессов для кабеля ПвП $1 \times 630/85-10$. Это одножильный кабель на напряжение 10 кВ с медной жилой сечением 630 мм^2 и изоляцией из сшитого полиэтилена. Длина образца составила 1,5 м, что не позволяет провести корректный опыт с нагревом кабеля из-за влияния теплообмена через торцы кабеля. Однако при термоизоляции торцов можно провести опыт с охлаждением предварительно нагретого током кабеля.

Функциональная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

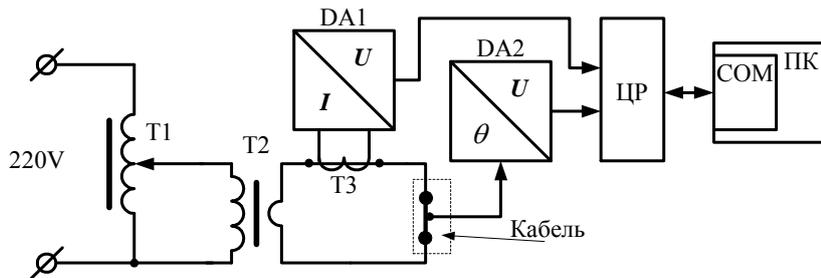


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки

Напряжение с ЛАТРа Т1 подавалось на трансформатор Т2, в магнитопроводе которого имелось свободное окно. Через это окно был проведен один виток провода с подключенным исследуемым образцом кабеля. В этом эксперименте были использованы четыре датчика температуры на основе предварительно отградуированных терморезисторов марки СН-25. Датчик температуры жилы был установлен в центре образца непосредственно на жилу кабеля, а отверстие законопачено высверленным материалом. На расстоянии 100 мм по оси кабеля от этого датчика был установлен датчик температуры поверхности кабеля, закрытый сверху термоизолирующим материалом (ватой, помещенной в пластмассовую банку). Для измерения температуры воздуха на натянутую нить были закреплены два датчика. Один на расстоянии 50 мм (один диаметр кабеля) от поверхности кабеля, а второй на расстоянии 280 мм от поверхности кабеля. Их расположение показано на рис. 2.

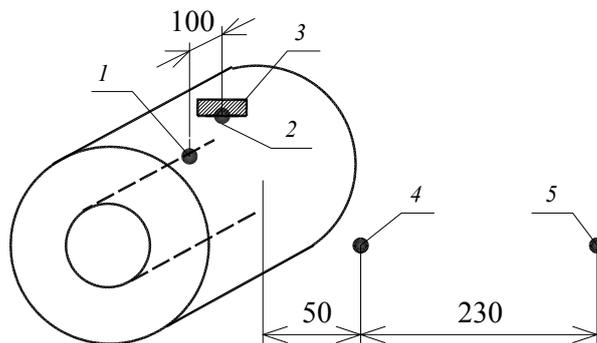


Рис. 2. Расположение датчиков:

1 – датчик температуры жилы кабеля; 2 – датчик температуры поверхности кабеля; 3 – термоизоляция датчика; 4, 5 – датчики температуры воздуха

Торцы кабеля были теплоизолированы ватой.

Измерение мгновенных значений тока, протекающего по кабелю, осуществлялось с помощью измерительного трансформатора тока Т3 и измерительного преоб-

разователя ток – напряжение DA1. Измерение мгновенных значений температур жилы кабеля, поверхности кабеля, окружающей среды осуществлялось с помощью измерительного преобразователя температура – напряжение DA2. Измерительные преобразователи были подключены к цифровому регистратору ЦР, который, в свою очередь, посредством интерфейса RS232 передавал данные в персональный компьютер ПК. Программное обеспечение ПК осуществляло расчет действующих значений тока и значений температур с интервалом времени приблизительно 3 с.

В процессе эксперимента кабель нагревался различными значениями тока, затем ток отключался, и выдерживалась пауза в 5 мин для получения изотермической поверхности по всей длине образца. После этого проводились измерения с записью данных в компьютер. Всего было проведено три опыта с охлаждением кабеля.

Внешний вид установки приведен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид экспериментальной установки

На расстоянии одного диаметра кабеля его нагрев практически не влияет на температуру воздуха.

Результаты расчетов температуры жилы кабеля на основе математической модели вместе с экспериментальными данными для опыта № 1 приведены на рис. 4.

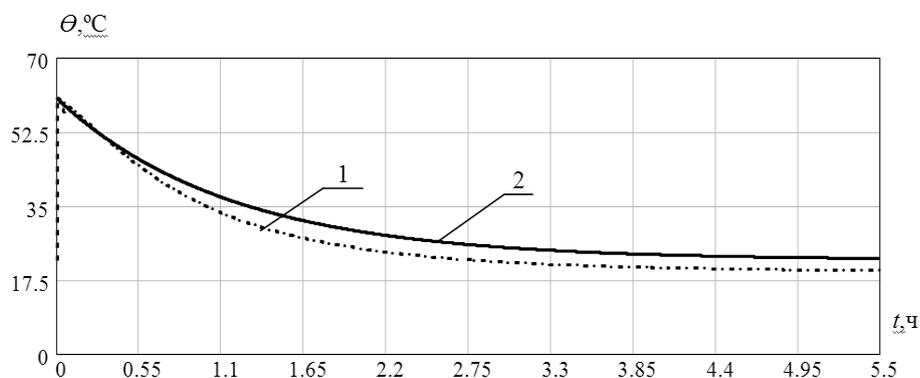


Рис. 4. Расчетные и экспериментальные диаграммы температуры жилы кабеля для опыта № 1: 1 – эксперимент; 2 – расчет по математической модели

514 Секция X. Энергоэффективность и диагностика энергооборудования

Данные эксперименты позволили сделать вывод, что существующая математическая модель тепловых процессов в силовых кабелях достаточно корректно описывает процесс охлаждения.

Несмотря на это, требуется усовершенствование математической модели, что и будет осуществляться в дальнейшем.