

Разработка и анализ экономического комплексного устройства управления освещением¹

С. САХАНА, Б. РОЙ

Джадавпурский университет, Колката, Индия
E-mail: sahana.sagnita@gmail.com

Аннотация

Разработано комплексное устройство управления освещением (далее – УУО) на основе датчика естественной освещённости. Это экономичное УУО работает на основе данных, полученных от встроенных датчика естественной освещённости и датчика присутствия. Проведён анализ работы УУО при использовании различных датчиков для управления цепями питания ламп применительно к небольшим системам внутреннего освещения. Уровни чувствительности фотоприёмника (т.е. фоторезистора (ФР)) и датчика присутствия (т.е. пассивного инфракрасного датчика (ПИД)) можно регулировать с помощью встроенного средства настройки после экспериментального измерения характеристик чувствительности обоих датчиков. Управляя системой внутреннего освещения с помощью разработанного УУО, можно уменьшить потребление электроэнергии при отсутствии человека в любом помещении. Также можно изменять мощность лампы в зависимости от сезонных изменений уровня освещённости посредством выбора значения опорного напряжения и минимизировать потребление электроэнергии за счёт использования естественного света. Это решение является недорогим благодаря низкой стоимости компонентов и датчиков.

Ключевые слова: энергосбережение, фоторезистор, устройство управления освещением, пассивный инфракрасный датчик.

1. Введение

Электроэнергия является одним из важнейших ресурсов экономического развития любой страны. Чтобы удовлетворить возрастающую потребность

в электроэнергии, обусловленную ростом населения и стремительной урбанизацией, необходимо оптимальное использование энергии. Предыдущие исследования показали, что энергия, потребляемая осветительными установками, составляет 20–40 % от общего энергопотребления коммерческих зданий [1] и 50 % от общего энергопотребления жилых зданий [2]. Поэтому экономия расходуемой на освещение энергии может значительно снизить общее потребление электроэнергии. Экономия энергии, расходуемой на освещение, может быть достигнута посредством усовершенствования системы управления освещением в результате правильного выбора стратегии управления освещением. Автоматизация освещения позволяет автоматически управлять искусственным освещением в зависимости от присутствия человека, уровня естественной освещённости, личных предпочтений пользователя в отношении условий освещения и даже времени максимального спроса на электроэнергию [3]. Грамотное использование сочетания естественного света с системой искусственного освещения может сэкономить значительное количество электроэнергии. Это может быть достигнуто с помощью основанной на использовании светочувствительных датчиков системы управления освещением, обеспечивающей регулировку мощности системы искусственного освещения в соответствии с уровнем естественной освещённости [4]. Светочувствительные системы управления освещением обычно работают на основе таких детекторов, как датчик присутствия, фотодатчик и т.д. Широко распространённые системы управления основаны на различных технологиях. Система *Philips ActiLume 1–10 V* была разработана для достижения значительной экономии энергии (до 70 %) за счёт сочетания регистрации как присутствия, так и на-

личия естественного освещения [17]. В ней используется система *ActiLume Wireless 1–10 V*, которая состоит из датчика *ActiLume 1–10 V* и беспроводной распределительной коробки *ActiLume 1–10 V* [18]. Существует также несколько систем, основанных на протоколе *DALI* [19, 20]. В этой статье представлено устройство управления освещением (УУО), которое может измерять естественную освещённость и регистрировать присутствие человека, а также соответствующим образом управлять световым потоком установки искусственного освещения. Поэтому разработанное УУО может использоваться для включения/выключения света, а также как светорегулятор. Из-за высокой цены на существующие УУО их приобретают нечасто. Поэтому цель состоит в том, чтобы разработать экономически эффективное УУО, которое подтолкнуло бы пользователей в сторону минимизации энергопотребления.

2. Цели

Конкретные цели работы – это энергосбережение, автоматическое управление освещением и уменьшение затрат посредством разработки УУО, которое включает в себя датчик присутствия и фотодатчик. Это необходимо для создания такой системы управления освещением на основе сведений о присутствии людей в помещении и уровне естественной освещённости, которая обеспечивала бы требуемый уровень освещённости в присутствии людей. В настоящее время существует множество технологий, доступных для регулирования мощности источников света, но в описываемой работе был разработан простой светорегулятор для применения во внутреннем освещении, использующий широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) и симистор, запускаемый с помощью импульса, обеспечивающего разные углы открытия этого симистора. ФР, который используется в качестве фотодатчика, представляет собой очень дешёвое решение; пассивный ИК-датчик также доступен на рынке по низкой цене. Для проведения измерений нами использовались наиболее распространённые источники света для внутреннего освещения, то есть трубчатые люминесцентные лампы (ТЛЛ) и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). Однако с помощью

¹ Перевод с англ. А.Г. Савицкой

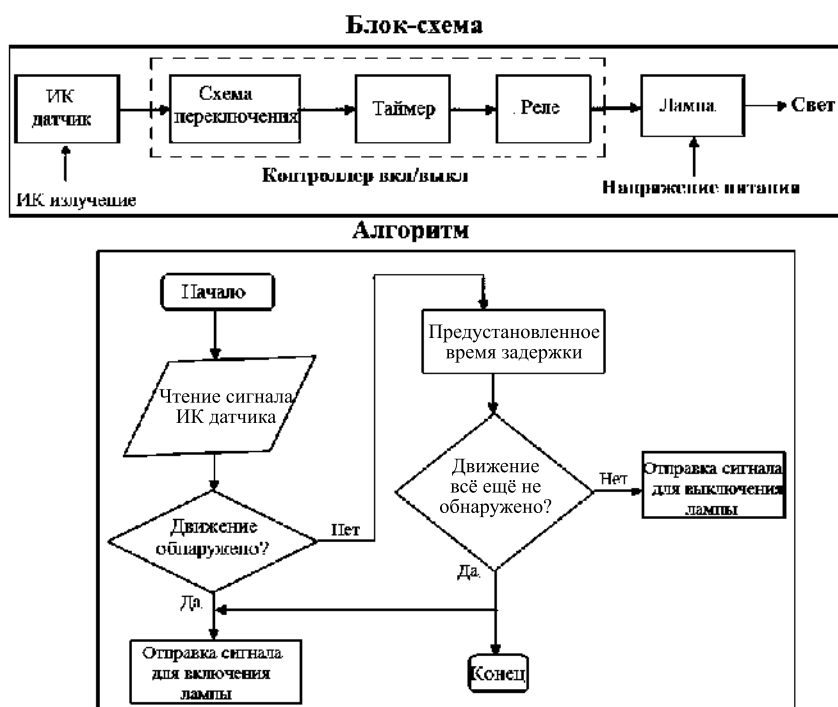


Рис. 1. Схема I

этого УУО можно управлять и любыми светодиодными источниками света со встроенными устройствами управления. В этой работе эффективность разработанного УУО оценивается на основе результатов измерения электрических и фотометрических характеристик с использованием в качестве тестовых образцов распространённых типов ламп, а именно ТЛЛ и КЛЛ. Это УУО может использоваться в сельских районах, а также в различных системах внутреннего освещения, чтобы уменьшить количество расходуемой на освещение электрической энергии.

3. Конструкция устройства управления освещением

Были разработаны две разные цепи датчиков, которые были совмещены с электрической схемой УУО с помощью различных схем, обеспечивающих непрерывное управление лампой с использованием ФР и ПИД.

3.1. Схема управления освещением I

В этой схеме источник света автоматически включается и выключается на основе сведений о присутствии людей, полученных с помощью датчика LHI 968.

ПИД LHI 968 с типичной чувствительностью 3,8 кВ/Вт используется в этой цепи в качестве датчика при-

сутствия. Это коммерчески доступный и очень дешёвый датчик присутствия, который для обнаружения присутствия или любого движения объектов принимает и измеряет инфракрасное излучение, исходящее от объекта в его поле зрения, и реагирует на него. Этот датчик называется пассивным, потому что он сам не излучает никакой энергии, но генерирует сигнал на основе инфракрасного излучения в пределах своей зоны обнаружения. Элементы ПИД обычно имеют симметричную форму и размещены дискретно с определённым шагом для отделения термически индуцированных зарядов от пьезоэлектрически индуцированных зарядов и для лучшего подавления синфазных сигналов. Эти дискретные элементы называются встречными (гребенчатыми) электродами. Для фокусировки инфракрасного излучения от объектов на чувствительный элемент датчика используется линза Френеля, которая, помимо прочего, защищает прибор от внешних воздействий. ИК-датчик наиболее чувствителен к излучению с длиной волны 10 мкм, которая является пиковой длиной волны излучения человеческого тела. Однако ИК-датчики требуют отсутствия препятствий перед объектом и не могут легко различить людей и мелких животных. У них есть «мёртвые» зоны, в которых движение в поле зрения не может быть обнаружено.

Схема управления лампой включает в себя электронные схемы для автоматического включения и выключения лампы на основе данных о присутствии людей в помещении. Напряжение питания преобразуется в управляющее напряжение постоянного тока для работы схемы. Блок-схема этого УУО и соответствующий алгоритм приведены на рис. 1. При обнаружении какого-либо движения на базу транзистора подаётся сигнал более высокого напряжения, который запускает реле, чтобы зажечь лампу.

Схема состоит из:

- Источника питания.
- ИК датчика.
- Блока управления.
- Схемы включения лампы.

3.2. Схема управления освещением II

В этой схеме используется ФР на основе сульфида кадмия (CdS), выступающий в качестве датчика естественной освещённости. Это небольшое круглое пассивное полупроводниковое устройство с переменным сопротивлением, зависящим от количества света, падающего на его поверхность. Величина сопротивления уменьшается с увеличением количества падающего света, и наоборот. В отсутствие падающего света ФР имеет измеряемое в мегомах максимальное сопротивление, которое называется темновым сопротивлением. Типичное значение в этом случае составляет 100 МОм. ФР был покрыт белым рассеивателем для рассеивания света, падающего с разных направлений, а также для минимизации косинусной погрешности.

Блок-схема и алгоритм для этой модели показаны на рис. 2. Схема включает в себя измерительный мост и один компаратор IC741. Компаратор сравнивает выходное напряжение ФР с заданным опорным напряжением и, в зависимости от результата, приводит в действие реле для включения или выключения лампы. Для того, чтобы избежать дребезга контактов реле и искрового разряда в катушке реле во время работы, использовались конденсатор и диод.

Схема состоит из:

- Источника питания.
- ФР.
- Схемы включения лампы.

3.3. Схема управления освещением III

В этом случае УУО должно обеспечить плавное светорегулирование и требуемый уровень освещённости, исходя при этом из количества естественного света, падающего на ФР. Блок-схема регулятора светового потока приведена на рис. 3.

Разработанная схема состоит из:

- ФР.
- Регулятора светового потока
- Схемы запуска симистора.
- Схемы включения лампы.

Уровень напряжения постоянного тока, соответствующего требуемому уровню освещённости, устанавливается в качестве опорного напряжения контроллера. Угол открытия симистора контролируется генерируемым ШИМ-сигналом. В целях безопасности был использован оптоизолятор для отделения стороны с низким напряжением от стороны с высоким напряжением.

3.4. Схема управления освещением IV

Это итоговая схема, предназначенная для регистрации присутствия человека и определения уровня естественной освещённости, а также для управления световым потоком источника света в соответствии с изменениями естественной освещённости. При использовании на практике датчики могут быть расположены на потолке, куда напрямую будет попадать естественный свет. В некоторых случаях может оказаться, что естественная освещённость в этом месте будет очень низкой. В этих случаях требуемый уровень освещённости может быть достигнут посредством настройки сопротивления потенциометра, соответствующего опорной освещённости. Разработанная схема состоит из трёх частей:

- ПИД.
- ФР.
- Светорегулятор. Обе цепи датчиков были связаны и интегрированы в схему основного УУО. Светорегулятор работает только тогда, когда ПИД обнаруживает человека. Мощность лампы можно уменьшить в соответствии с требуемым уровнем освещённости, изменяя угол открытия симистора в соответствии с шириной ШИМ-сигнала.

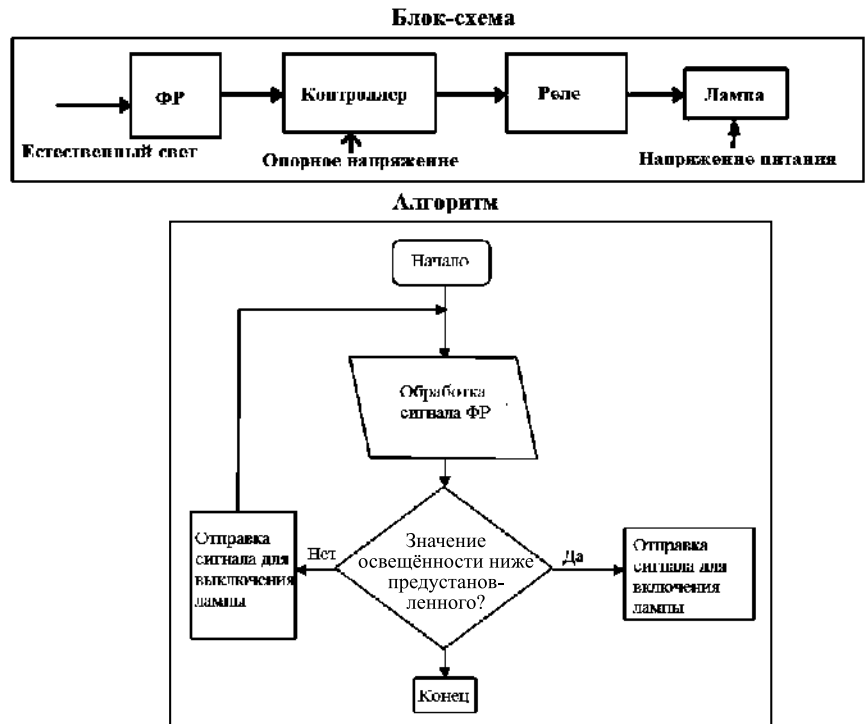


Рис. 2. Схема II



Рис. 3. Схема III

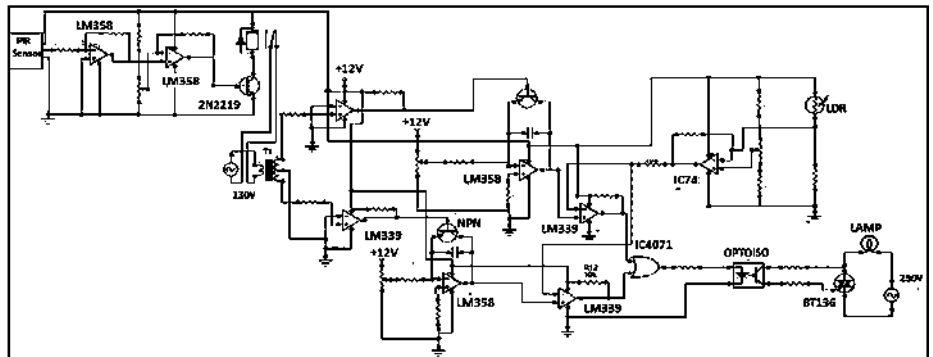


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема УУО

Фотография и итоговая схема УУО показаны на рис. 4 и 5.

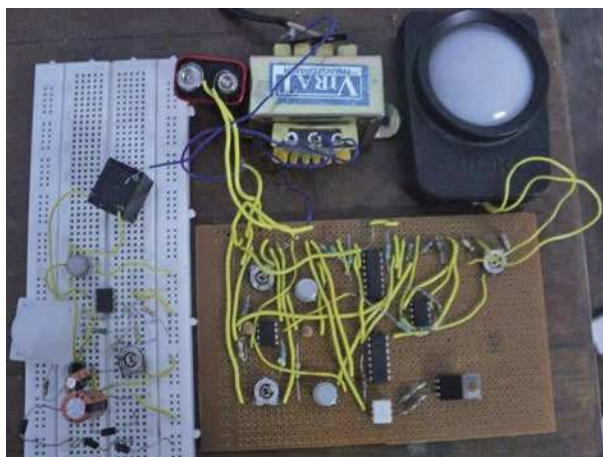
4. Результаты эксперимента и анализ работы

Разработанное УУО было проанализировано теоретически и экспериментально применительно к нескольким характеристикам. Светорегулирование ламп, предназначенных для внутреннего освещения, исследовалось экспериментально с использованием разработанного УУО.

4.1. Спектральная чувствительность ФР

Спектральная чувствительность ФР близка к функции $V(\lambda)$, то есть к функции чувствительности человеческого глаза. В данном исследовании для ФР не было обеспечено никакой цветовой коррекции. Значения освещённости были измерены с использованием прибора *Konica Minolta Chromameter CL 200*. Зависимость выходного сигнала ФР от освещённости показана на рис. 6.

Рис. 5. Разработанное УУО



$$U_i = U_r \left[\frac{1}{\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha)) \right]^{1/2},$$

где U_i – напряжение питания лампы, В, U_r – среднеквадратичное значение напряжения системы, В, α – угол открытия симистора, рад. Изменение управляющего напряжения на 1 В эквивалентно изменению ширины импульса на 18° . Экспериментальные и теоретические значения углов открытия симистора и соответствующее изменение напряжения питания лампы (рис. 8, 9) сравнивались для проверки чувствительности УУО. Обнаружено, что с увеличением управляющего напряжения, то есть с увеличением ширины импульса, угол открытия симистора увеличивается, и наоборот. А с увеличением угла открытия симистора напряжение питания лампы уменьшается, что приводит к уменьшению мощности лампы. Наблюдается небольшая разница между теоретическими значениями и результатами измерения угла открытия симистора и напряжения питания лампы.

Сгенерированное УУО выходное управляющее напряжение и соответствующее напряжение на лампе показаны на рис. 10 и 11 на примере имеющих разную мощность ламп двух типов, которые обычно используются во внутреннем освещении.

4.4. Регулирование световых потоков ламп

Эффективность разработанного УУО была проверена на нескольких источниках света. Световые потоки ламп измеряли с помощью интегрирующей сферы диаметром 2,5 м и рабочей лампы. Характеристики светорегулирования ЛН, ТЛЛ и трёх КЛЛ (одна лампа мощностью 15 Вт и две лампы по 23 Вт) показаны на рис. 12.

Из приведённых графиков видно, что с увеличением управляющего напряжения световой поток лампы уменьшается. Для КЛЛ мощностью 15 Вт световой поток может быть уменьшен до 36 %. Но в случае КЛЛ мощностью 23 Вт для анализа работы УУО использовались два разных образца. Образец № 1 имел более низкое значение светового потока (1300 лм) и более низкий коэффициент мощности (0,85), чем образец № 2 (1350

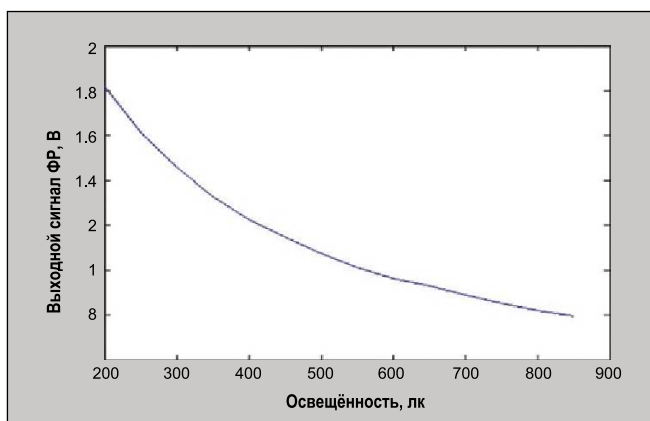


Рис. 6. Характеристика чувствительности резистора

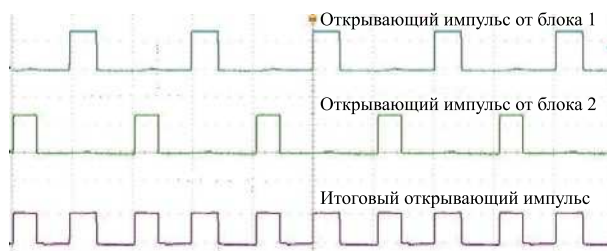


Рис. 7. Итоговый управляющий сигнал

4.2. Сигнал управления напряжением лампы

Сгенерированные сигналы от каждого блока разработанного УУО наблюдались и регистрировались при помощи 4-канального цифрового осциллографа *DPO 4034* компании *Tectronix*. Сгенерированный управляющий импульс (т.е. ШИМ-сигнал) УУО показан на рис. 7.

4.3. Экспериментальная установка и анализ

Разработанное УУО, реагирующее на естественный свет, может применяться для регулирования световых потоков ламп, обычно используемых для внутреннего освещения. С помощью разработанной схемы было про-

ведено регулирование световых потоков следующих источников света: лампа накаливания мощностью 60 Вт на напряжение питающей сети 230 В (ЛН), трубчатая люминесцентная лампа мощностью 36 Вт с электромагнитным пускорегулирующим аппаратом, три не являющиеся лампами прямой замены компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) мощностью 15 Вт, а также две КЛЛ мощностью 23 Вт (образцы № 1 и № 2). В соответствии с изменением естественной освещённости, ширина управляющего импульса изменяется, что приводит к открытию симистора при разных углах. Напряжения питания лампы при разных углах открытия были измерены и сравнены с теоретическими значениями, рассчитанными с помощью выражения:

лм и 0,89 соответственно). При этом в случае КЛЛ мощностью 23 Вт образец № 1 – это лампа холодно-белого света, не являющаяся лампой прямой замены, а образец № 2 – это лампа прямой замены тёпло-белого света. При рассмотрении характеристик этих двух ламп видно, что световой поток образца № 2 был уменьшен всего на вплоть до 10 %, а образца № 1 – на вплоть до 30 %. Мы использовали светорегулируемые и не являющиеся лампами прямой замены КЛЛ с 4-мя контактами, у которых пускорегулирующий аппарат не встроен в цоколь, так что у них источник питания подключается снаружи. Однако КЛЛ прямой замены, как правило, к светорегулируемым не относятся. Это связано с тем, что в настоящее время все КЛЛ прямой замены сконструированы таким образом, что при колебаниях напряжения питания их световые потоки остаются неизменными. Таким образом, можно утверждать, что образец № 1 был спроектирован так, чтобы стабилизировать значение светового потока при изменении напряжения питания. У образца № 2 возможно более глубокое светорегулирование, и её световой поток уменьшается почти линейно.

5. Экспериментальные исследования УУО, обеспечивающего светорегулирование с учётом естественной освещённости

В разработанном УУО необходимое для генерации импульса открытия симистора управляющее напряжение поступает от блока с ФР. Значение естественной освещённости преобразуется в соответствующий уровень управляющего напряжения с помощью ФР.

5.1. Управляющее напряжение от блока ФР

Управляющее напряжение, поступающее от блока ФР, варьировалось посредством изменения уровня освещённости, создаваемой падающим светом на поверхности рассеивателя. При фиксированном значении опорного напряжения, величина управляющего напряжения, генерируемого блоком ФР, возрастает с увеличением уровня освещённости, создаваемой падающим светом (рис. 13).

Рис. 8. Зависимость угла открытия симистора от управляющего напряжения

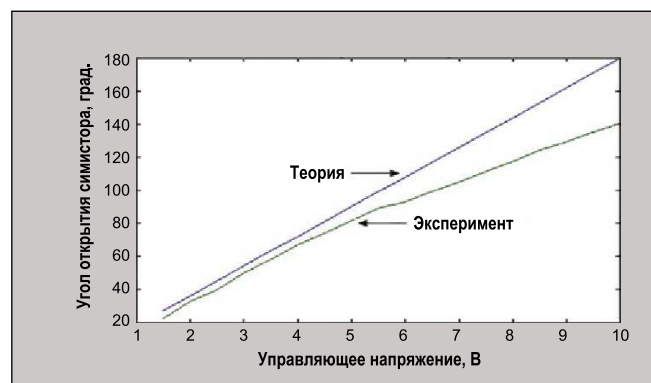


Рис. 9. Зависимость напряжения питания лампы от угла открытия симистора

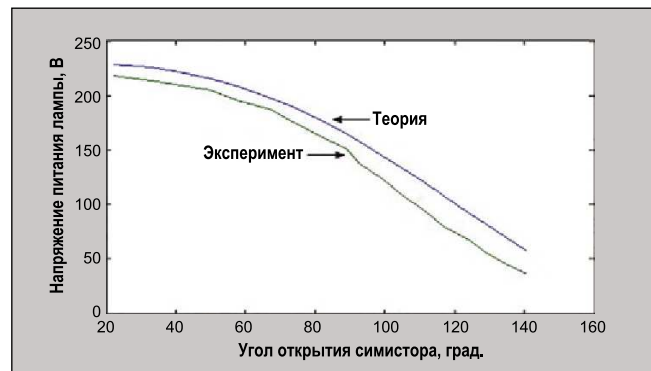


Рис. 10. Форма управляющего сигнала и напряжения на лампе для ТЛЛ при работе в режиме 70 % от максимального светового потока

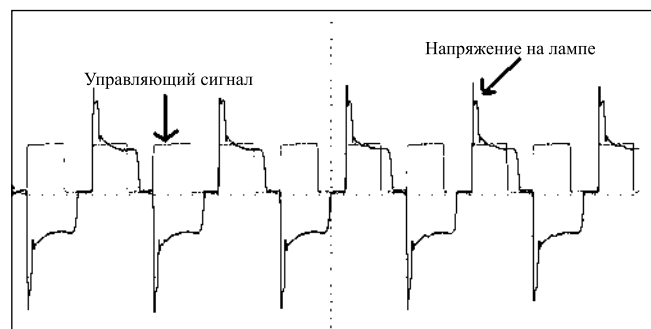
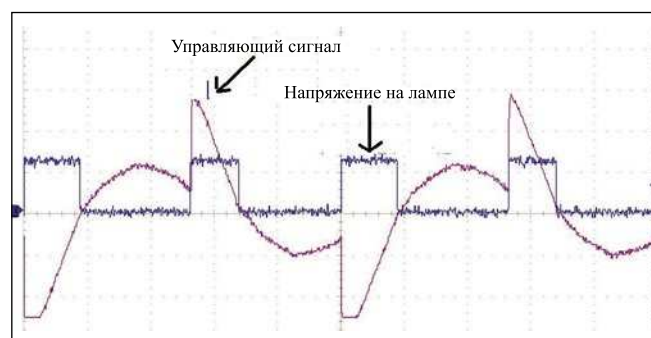


Рис. 11. Форма управляющего сигнала и напряжения на лампе для КЛЛ мощностью 15 Вт при работе в режиме 70 % от максимального светового потока



5.2. Изменение светового потока при изменении опорного напряжения

Был проведён эксперимент для получения значения управляющего напряжения, генерируемого блоком ФР, при разных значениях опорного напряжения, изменяющегося в интервале от 2 до 10 В с целью изменения светового потока ТЛЛ мощностью

36 Вт. Управляющее напряжение регистрировали при различных значениях опорного напряжения. Опорное напряжение можно изменять посредством регулирования сопротивления потенциометра. Отражённая составляющая освещённости, создаваемой интегрирующей сферой, измерялась при помощи прибора *Konica Minolta Chromameter CL 200* при размещении лампы в центре сферы. Пример из-

Рис. 12. Характеристики светорегулирования для разных ламп при использовании разработанного УУО

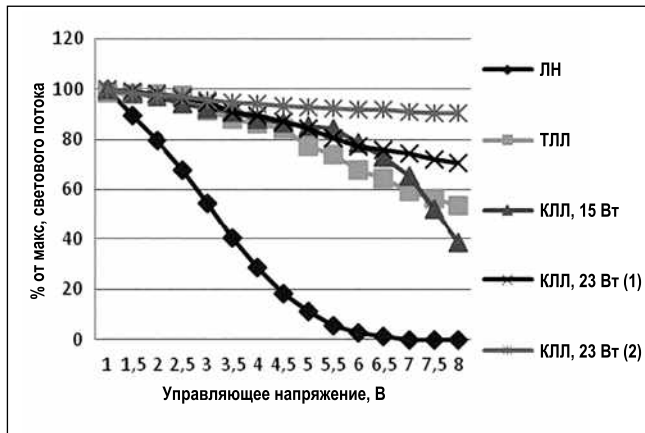


Рис. 13. Зависимость управляющего напряжения от естественной освещённости на ФР

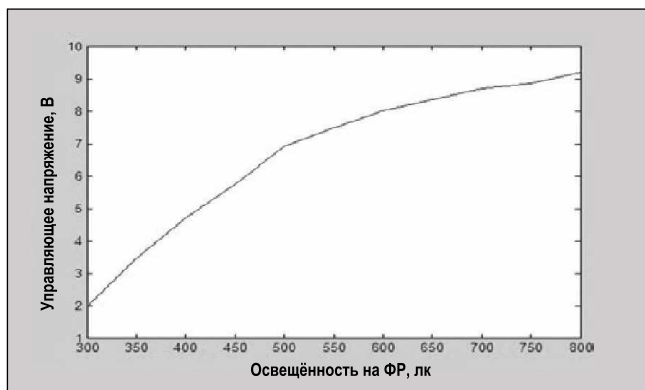


Рис. 14. Зависимость управляющего напряжения от естественной освещённости на ФР при разных значениях опорного напряжения

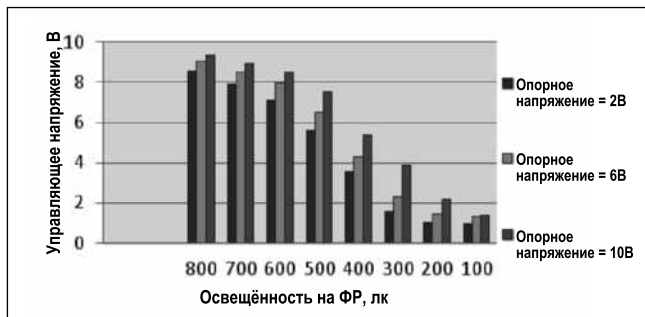
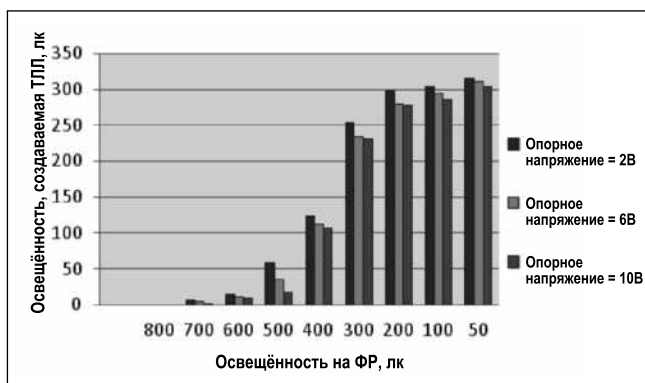


Рис. 15. Зависимость светового потока лампы от естественной освещённости на ФР при различных опорных напряжениях для ТЛЛ



менения управляющего напряжения в зависимости от уровня естественной освещённости показан на рис. 14 для трёх различных значений опорного напряжения. Изменение светового потока ТЛЛ при изменении естественной освещённости на поверхности ФР и при различных значениях

управляющего напряжения также показано на рис. 15.

6. Стоимостной анализ

Компоненты, использовавшиеся при разработке схем, легко доступны на рынке. Сравнение стоимости раз-

личных схем проведено на рис. 16. Поскольку стоимость ИК-датчика больше, чем стоимость датчика с ФР, стоимость Схемы II получается ниже, чем стоимости остальных схем. Сравнение затрат производится применительно к индийским рупиям (*INR*).

7. Обсуждение

Установлено, что у разработанного реагирующего на освещённость УУО с встроенными датчиками с увеличением управляющего напряжения напряжение питания лампы уменьшается, в результате чего световой поток лампы также уменьшается. Управляющее напряжение подаётся от блока ФР. Генерируемое блоком ФР выходное управляющее напряжение повышается с увеличением естественной освещённости, что приводит к уменьшению напряжения питания лампы и, соответственно, к снижению её светового потока. С другой стороны, если уровень естественной освещённости низкий, то выходное управляющее напряжение уменьшается, что приводит к увеличению напряжения питания лампы и, соответственно, к увеличению её светового потока. Следовательно, световой поток лампы увеличивается при увеличении напряжения питания лампы. Если опорное напряжение, установленное для блока ФР, изменяется, то изменяется и управляющее напряжение. При более высоком значении опорного напряжения, которое соответствует более высокому уровню освещённости, реализуется большее значение управляющего напряжения. На рис. 14 видно, что когда опорное напряжение составляет 10 В, то при одном и том же уровне естественной освещённости значение управляющего напряжения больше, чем при более низких уровнях опорного напряжения. При одном и том же уровне естественной освещённости значения управляющего напряжения оказались наименьшими при опорном напряжении, равном 2 В. Выходит, что наименьший световой поток лампы будет получен при наиболее высоком уровне опорного напряжения. Следовательно, когда естественного света меньше, то есть в течение зимнего сезона, или когда естественного света больше, то есть летом, опорное напряжение должно быть соответствующим образом отрегулировано для достижения требуемого уровня освещённости.

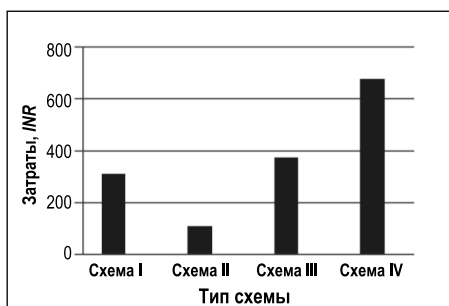


Рис. 16. Сравнение стоимости различных исполнений УО

При этом управляющее напряжение должно быть установлено вручную посредством регулировки сопротивления потенциометра.

8. Заключение

Целью работы была разработка экономичного интегрального УОО, а также оценка функционирования разработанного УОО в небольших помещениях. В работе показано, что степень чувствительности фотодатчика и датчика присутствия можно регулировать с помощью интегрированного средства настройки, имеющегося в разработанной схеме. Источник света можно отключить с помощью разработанного нами простого УОО, чтобы уменьшить потери электроэнергии при отсутствии людей или при присутствии людей в условиях достаточной естественной освещённости. УОО может уменьшать световой поток ламп, используемых для общего внутреннего освещения, в зависимости от уровня естественной освещённости. Кроме того, имеется возможность изменять световой поток в зависимости от сезонных изменений естественной освещённости за счёт выбора опорного напряжения. Система будет более эффективной, если применять управление освещением в отдельных зонах помещения. Для полного понимания работы лампы с использованием разработанного УОО необходимо ещё одно подробное исследование. Управление имеющимися в продаже светодиодами возможно после внесения в описанную схему некоторых изменений. Эффективность этой системы применительно к управлению светодиодными лампами в данной статье не затрагивалась. В качестве примеров приведены результаты только для ТЛЛ и КЛЛ. Эта система может быть применена во внутренних помещениях для регистрации присутствия че-

ловека и энергосбережения за счёт использования естественного света.

Эта работа является частью магистерской диссертации в области светотехники, выполненной первым автором. Мы благодарны г-же Дебжани Гангули (*Debjani Ganguly*), доценту кафедры электротехники Индийского института инженерных наук и технологий, г. Шибпур, и доктору Бисвенду Чаттерджи (*Biswendu Chatterjee*), доценту кафедры электротехники Джадавпурского университета, за ценные предложения по выполнению этой работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shashi, R.V.* Energy Markets And Technologies In India // Keynote Address in Global Energy Dialogue at Hanover (Germany). – April 25, 2006.
2. *Slater, A.I.* Lighting and Energy in Buildings // 23rd Session of the CIE, New Delhi, 1995. – Vol. 1.
3. *Rubinstein, F., Siminovitch, M., Verd-erber, R.* Fifty Percent Energy Savings with Automatic Lighting Control // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1993. – Vol. 29, No. 4. – P. 768–773.
4. *Fraden, J.* Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. Fourth Edition. – 2010.
5. *Guo, X., Tiller, D.K., Henze, G.P., Waters C.E.* The performance of occupancy-based lighting control systems // Lighting Research and Technology. – 2010. – Vol. 42. – P. 415–431.
6. *Tiller, D.K., Guo X., Henze G.P., Waters C.E.* Validating the application of occupancy sensor networks for lighting control // Lighting Research and Technology. – 2010. – Vol. 42. – P. 399–414.
7. *Newsham, G.R., Aries, M.B.C., Mancini, S., Faye, G.* Individual control of electric lighting in a daylight space // Lighting Research and Technology. – 2008. – Vol. 40. – P. 25–41.
8. *Rubinstein, F., Siminovitch, M., Verd-erber R.* Fifty Percent Energy Savings with Automatic Lighting Control // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1993. – Vol. 29, No. 4. – P. 768–773.
9. Lighting Handbook Reference & Application. – Illuminating Engineering Society of North America, Ninth Edition. – 2000.
10. *Kim S., Mistrick R.* Recommended Daylight Conditions for Photosensor System Calibration in a Small Office // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 2001. – Vol. 30, No. 2. – P. 176–188.
11. *Mistrick, R.G., Sarkar, A.* Daylight-Responsive Photosensor Control in

Classrooms with Different Daylight Delivery Systems // IESNA Annual Conference in Tampa, Florida. – July 2004.

12. *Bierman, A., Conway K.M.* Characterizing Daylight Photosensor System Performance to Help Overcome Market Barrier // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 2000. – Vol. 29, No. 1. – P. 101–115.

13. *Kinney, L.* Practical Control Strategies for Harvesting Daylight Savings // E Source Emerging Technology Series, ER-00-13. – July 2000.

14. *Slater, A.I.* Lighting and Energy in Buildings // 23rd Session of the CIE, New Delhi, 1995. – Vol. 1.

15. *Rubinstein, F., Avery, D., Jennings, J.* On the Calibration and Commissioning of Lighting Controls // Right Light Conference, Copenhagen, Denmark. – 1997.

16. *Kim, S., Mistrick, R.* Recommended Daylight Conditions for Photosensor System Calibration in a Small Office // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 2001. – Vol. 30, No. 2. – P. 176–188.

17. http://www.lighting.philips.com/pwc_li/main/products/controls/assets/actilume1-10V-applicationguide-v2fin2-new.pdf.

18. http://www.lighting.philips.com/pwc_li/main/products/controls/assets/actilume%20wireless1-10v-oem-applicationguide-dec2012-new.pdf.

19. http://www.lighting.philips.com/pwc_li/main/products/assets/pdf/Actilume_DALI_Gen2_ApplicationGuide-V4_Apr-2014.pdf.

20. http://www.lighting.philips.com/pwc_li/main/products/assets/pdf/Actilume_OEM_ApplicationGuide_V2Fin.pdf.



Сангита Сахана (Sangita Sahana). М.Е. (2012 г.). Доцент Джадавпурского университета, Индия



Бисванат Рой (Biswanath Roy), Ph.D. (1999 г.). Профессор Джадавпурского университета, Индия. Почтенный член Индийского светотехнического общества и Общества инженеров (Индия)