

ЭЛЕКТРОННЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМ ОСВЕЩЕНИЕМ

Сурайкин Александр Иванович
ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»,
Российская Федерация, г. Саранск,
E-mail: suraykin@mail.ru, тел. +7 (834-2) 290668, 254137
430005, г.Саранск, ул. Богдана Хмельницкого, д. 39
Прокофьев Сергей Михайлович
Открытое акционерное общество «Орбита»
Российская Федерация, г. Саранск
E-mail: smprokofiev@mail.ru, тел. +7 (834-2) 254137,
430904, г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Пионерская, 12

Аннотация. В статье приводится описание оптико-акустического выключателя для энергосберегающего освещения. Приводится структурная схема, схемы функциональных блоков, а также основные электрические параметры. Описание алгоритма работы и результаты имитационного моделирования сопровождаются временными диаграммами.

Ключевые слова: оптико-акустический выключатель, электронный ключ, таймер, фоторезистор, микрофон.

I. ВВЕДЕНИЕ

Функция энергосбережения особенно актуальна для светодиодных светильников [1], ориентированных на так называемую сферу жилищно-коммунального хозяйства. Для многих светильников этой сферы требования таковы, что в светлое время суток они должны быть отключены, а в тёмное время – включены. Кроме того, в таких местах как подъезды жилых домов, и во многих местах общего пользования целесообразно, чтобы источники освещения были включены при наличии там людей. При их отсутствии освещение не требуется. Для таких решений начинают широко применяться устройства управления с так называемыми оптико-звуковыми или оптико-акустическими датчиками. Такие устройства обеспечивают автоматическое отключение светильника в светлое время суток (при достаточном уровне освещённости) и автоматическое включение в тёмное время. При этом включение будет происходить при наличии небольшого звукового сигнала (акустический порог включения: 55-65 дБ) в радиусе около 5 м. Встроенный в устройство управления таймер будет вести отсчёт времени освещения. В среднем оно составляет 35 – 45 с до выключения. Если будет поступление нового звукового сигнала до окончания работы таймера, то отсчёт будет начат заново.

Оптико-акустический датчик включает фотоприёмник (фоторезистор или фотодиод) и миниатюрный микрофон.

Фотоприёмник необходим для исключения включения светильника при наличии внешнего освещения (естественного или искусственного). При отсутствии внешнего освещения, например в вечернее время, при появлении какого-либо звука, например стук двери, шаги, позвякивание ключей и пр., происходит автоматическое включение светильника на время 35-45 с. По окончании этого интервала времени происходит автоматическое отключение светильника. Это режим работы обеспечивает специальное устройство – таймер (ждущий мультивибратор). При этом таймер настраивается таким образом, что он находится в режиме постоянного запуска, то есть с поступлением каждого нового звукового сигнала он, таймер, запускается заново. Таким способом обеспечивается непрерывный режим работы устройства питания светодиодов и светильника в целом при длительном нахождении в данном помещении людей.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исходя из уже известных данных, а также учитывая особенности применения светодиодных светильников в сфере жилищно-коммунального хозяйства, технические требования к устройствам питания светодиодов с оптико-акустическими выключателями можно представить следующим образом:

- Рабочий диапазон напряжения питания: 180-230 В (переменное),
- Оптический порог разрешения включения звукового тракта: 2 лк,
- Акустический порог включения: 65 дБ,
- Длительность освещения: 35+(-)10 с,
- Максимальный выходной ток: 100-500 мА.

Оптико-акустический датчик может быть выполнен как в виде отдельного устройства (в этом случае его называют оптико-акустический выключатель) и как подсистема драйвера. И в том и в другом случае оптико-акустический выключатель может быть представлен как опция (дополнение) устройства питания светодиодов. То есть при необходимости мы можем использовать оптико-акустический выключатель, а в случае отсутствия такой необходимости можно использовать драйвер без оптико-акустического датчика.

III. ТЕОРИЯ

Оптико-акустический выключатель можно рассматривать как управляемый электронный ключ, структурная схема которого приведена на рис. 1. Роль электронного ключа выполняет мощный МОП транзистор VT3. Его управление осуществляется по двум независимым каналам – оптическому (CLAMP) и акустическому (FILTERIN). Каналы объединены логической функцией 2И-НЕ, по которой формируется нормированное управляющее напряжение для блока DIFF (рисунок 1).

В цепи акустического канала предусмотрен ждущий мультивибратор (таймер), который обеспечивает формирование управляющего сигнала в течение ограниченного интервала времени (35-45 с).

На структурной схеме, приведённой на рис. 1, показаны следующие функциональные блоки:

- блок силового выключателя-OUTSW (транзистор VT3),
- блок выходного управляющего каскада-OUTCON (U1D, VT1, VT2),
- блок таймера-TIMER,
- блок дифференциатора-DIFF,
- блок нормирования входного сигнала-CLAMP,
- блок входного фильтра –FILTERIN,
- блок сетевого преобразователя с цепью формирования стабилизированного напряжения –ST (C2, VD5).

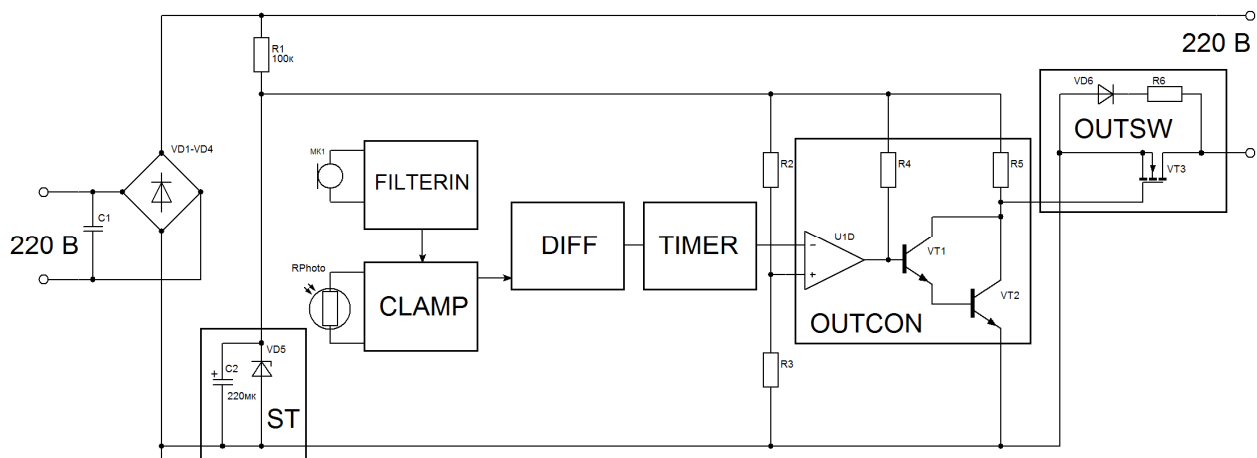


Рис. 1. Структурная схема оптико-акустического выключателя

В работе опто-акустического выключателя условно можно выделить три режима работы. Первый режим – при наличии внешнего освещения с уровнем освещённости 10 лк и

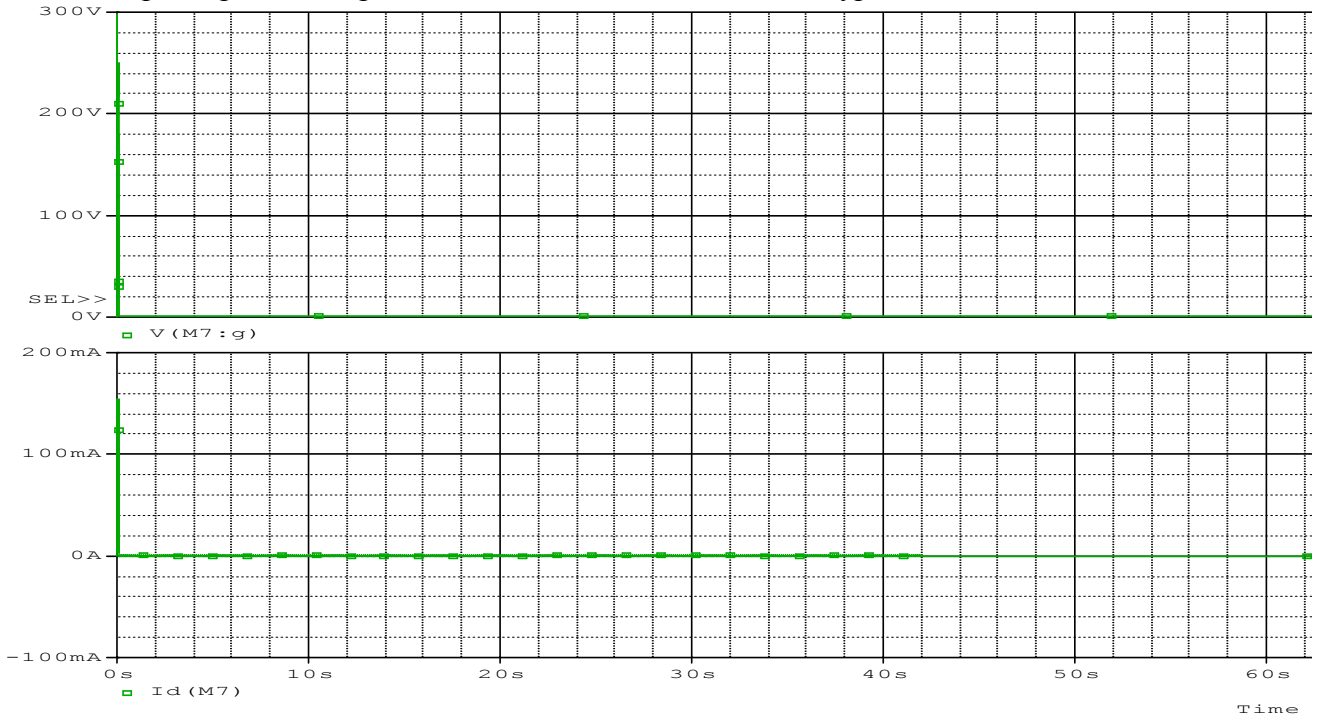


Рис. 2. Временные диаграммы работы опто-акустического выключателя при наличии внешнего освещения ($V(M7:g)$ – напряжение на затворе транзистора VT3, $I_d(M7)$ – ток стока транзистора VT3)

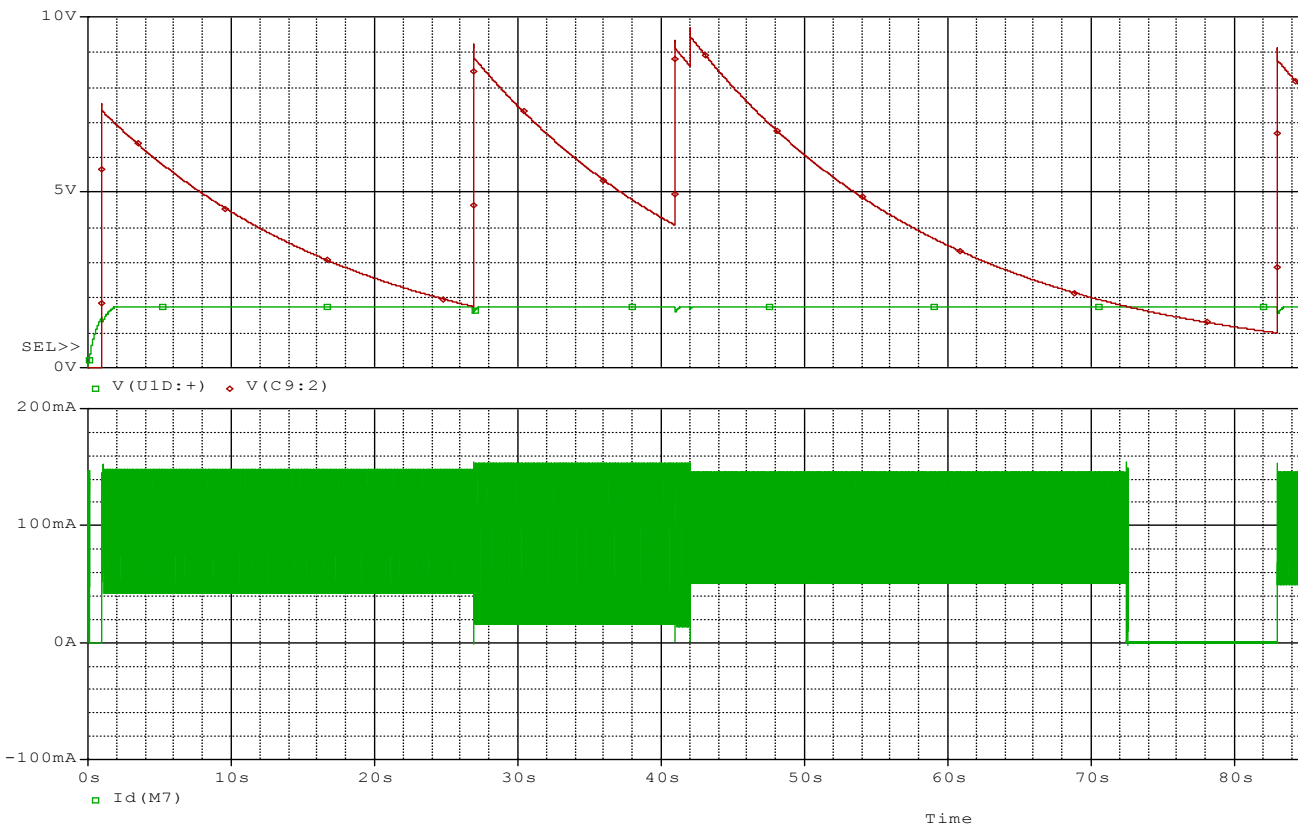


Рис. 3. Временные диаграммы работы опто-акустического выключателя при отсутствии внешнего освещения ($V(U1D: +)$ – напряжение на прямом входе компаратора U1D, $V(C9:2)$ – напряжение на инверсном прямом входе компаратора U1D, $I_d(M7)$ – ток стока транзистора VT3)

более (свет от лампы накаливания мощностью 5 Вт и более), фоточувствительный элемент (фоторезистор RPhoto) опико-звукового датчика блокирует звуковой тракт - сопротивление фоторезистора RPhoto 30 к и ниже и на выходе блока CLAMP будет присутствовать низкий уровень, блокирующий прохождение сигнала с микрофона. Блок TIMER не запускается, транзисторы VT1, VT2 блока OUTCON находятся в открытом состоянии и на затворе транзистора VT3 будет низкий уровень. Транзистор VT3 закрыт, и цепь питания нагрузки разомкнута (рис. 2).

Второй режим – внешняя освещённость 2 лк и менее (глубокие сумерки).

Оптический тракт выключается - сопротивление фоторезистора RPhoto – не менее 300 к, блок CLAMP переходит в состояние с высоким уровнем выходного сигнала, обеспечивая работу звуковому тракту (рис. 3).

Звуковой сигнал, усиленный микрофоном МК1 и отфильтрованный входным фильтром, нормируется в блоке CLAMP (прямоугольные импульсы). Этот сигнал поступает на дифференцирующий каскад DIFF, который формирует короткие импульсы, управляющие таймером. Блок TIMER состоит из двух каскадов: первый каскад – ждущий мультивибратор на компараторе U1C [2], который и запускается коротким импульсом U_d блока DIFF. Ждущий мультивибратор формирует регенерирующие импульсы [3], длительностью 3-5 мс, которые через р-п-р - транзистор Q3 регенерируют заряд ёмкости конденсатора C9 (рис. 4).

При отсутствии запускающих импульсов с блока DIFF, поддерживается условие $U_8 < U_9$, где U_8 – напряжение на выводе 8 компаратора U1C, U_9 - напряжение на выводе 9 компаратора U1C, определяющиеся соотношениями (1) и (2) соответственно.

$$U_8 = \frac{U_{st} \cdot R20}{R19 + R20} = 2,3B, \quad (1)$$

$$U_9 = \frac{U_{st} \cdot R22}{R21 + R22} = 5,0B, \quad (2)$$

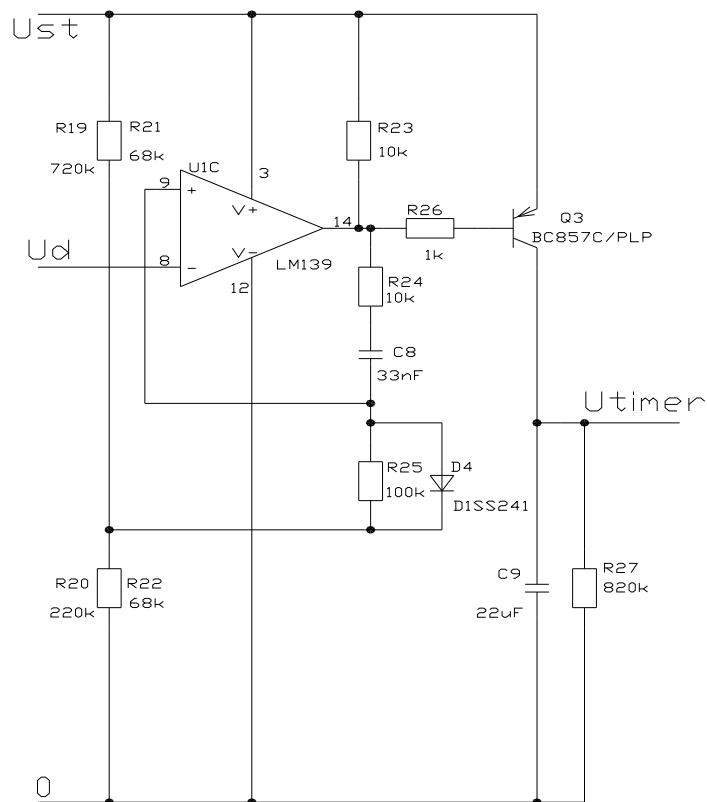


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема блока TIMER

где U_{st} – напряжения питания управляющей части оптико-акустического выключателя, равно 10 В.

В этом режиме, напряжение U_{14} на выходе компаратора практически равно напряжению питания ($U_{14} \approx U_{st}$). При поступлении с блока DIFF короткого запускающего импульса, происходит переключение компаратора U1C изменившимся условием на входах - $U_8 > U_9$. Напряжение U_{14} будет определяться соотношением (3).

$$U_{14} = \frac{(U_{st} - U_9) \cdot R24}{R23 + R24} + U_9 = 7,5B. \quad (3)$$

Данное напряжение включает второй каскад, выполненный на элементах Q3, C9, R27 и выполняющий роль таймера. Временная зависимость напряжения U_{14} определяется соотношением (4).

$$U_{14} = U_{st} \cdot [1 - \exp(-\frac{t}{(R24 + R25) \cdot C8})], \quad (4)$$

где $\tau = (R24 + R25) \cdot C8$ – постоянная времени разряда конденсатора C8.

При значениях элементов, приведённых на рисунке 2 - $\tau \approx 3,6$ мс. В течении этого времени происходит регенерация заряда конденсатора C9 коллекторным током транзистора Q3.

Разряд конденсатора C9 определяется величиной резистора R27. Исходя из постоянной времени разряда данного конденсатора (5), при отсутствии регенерирующих импульсов, рассчитывается время подключения нагрузки к сети. В данном варианте это время составляет примерно 35 с. Пока конденсатор C9 заряжен, напряжение на нём удерживает компаратор U1D в состоянии с низким уровнем, транзисторы VT1, VT2 при этом будут закрыты и на затворе транзистора VT3 (рис. 1) будет высокий уровень напряжения. Транзистор VT3 открыт и цепь нагрузки замкнута.

$$\tau = R27 \cdot C9. \quad (5)$$

По истечении времени 35 с напряжение на конденсаторе C9 становится низким и компаратор U1D переключится в состояние с высоким выходным напряжением. Транзисторы VT1, VT2 (рисунок 1) откроются и выключат транзистор VT3.

Третий режим – непрерывное поступление звуковых сигналов при внешнем освещении 2 лк и менее. Естественный звук шагов, разговор в радиусе примерно 5–7 м обеспечивают непрерывное поступление запускающих импульсов на таймер (рис. 5). В течении времени менее 35 с будет происходить постоянная регенерации напряжения на конденсаторе C9.

Компаратор U1D будет постоянно находится в состоянии с низким выходным напряжением. Транзисторы VT1, VT2 будут закрыты, а транзистор VT3 будет открыт. В случае прекращения поступления звуковых сигналов данный оптико-акустический выключатель перейдёт во второй режим, описанный выше.

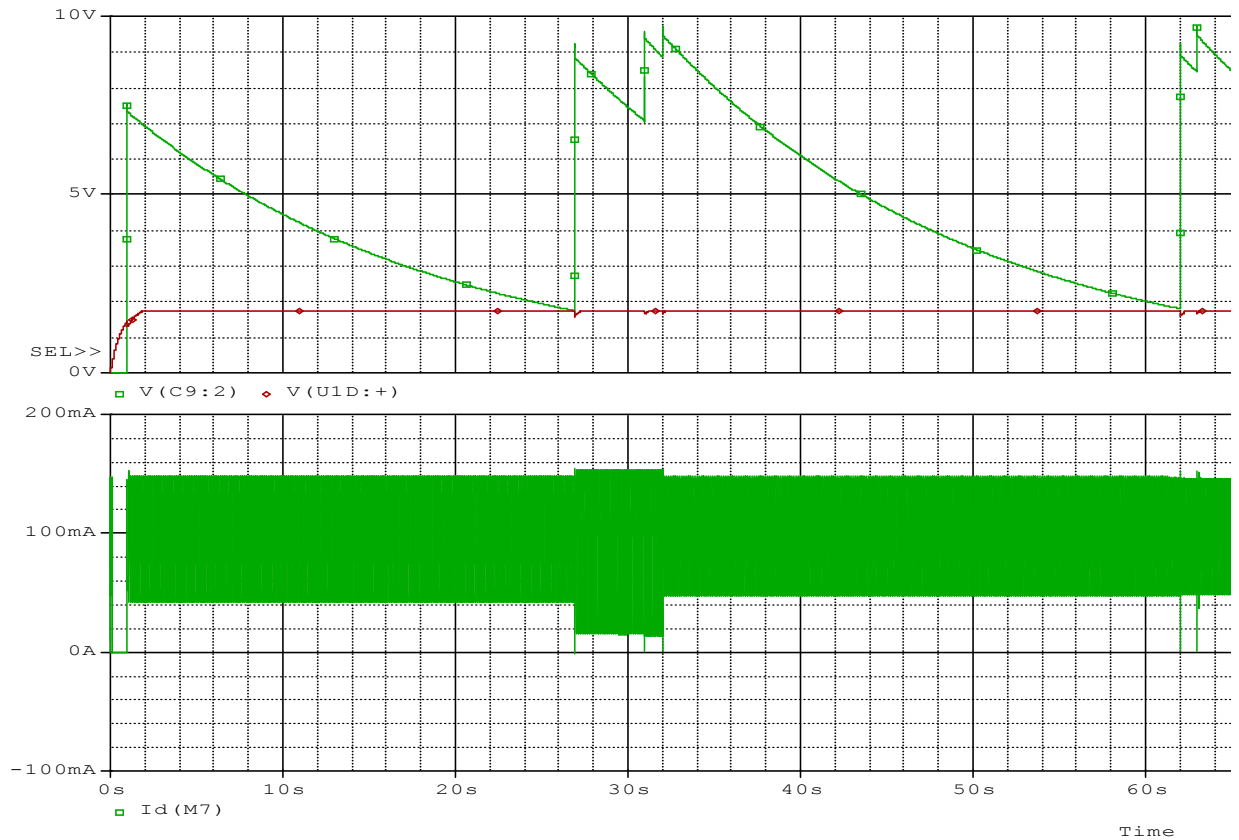


Рис. 5 Временные диаграммы работы опто-акустического выключателя при отсутствии внешнего освещения и непрерывном поступлении звукового сигнала

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Машинный эксперимент проводился при помощи программ компьютерного моделирования электронных схем. Моделирование схемы электрической принципиальной опто-акустического выключателя проводилось в САПР OrCAD. Для расчёта использовались модели и макромодели активных элементов схемы как имеющиеся в библиотеках САПР OrCAD, так и свободно распространяемые через сайты производителей электронной элементной базы.

Временные диаграммы расчета схемы электрической принципиальной опто-акустического выключателя во всех режимах приведены на рис. 2, рис. 3, рис. 5.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработка топологии печатной платы опто-акустического выключателя проводилась в свободно распространяемой САПР Sprint-Layout 5.0.

Разработка топологии печатной платы проводилась на основе двустороннего фольгированного текстолита типа FR-35.

Топология печатной платы – двусторонняя.

Размер печатной платы – 45 x 27 мм.

Использованы элементы для поверхностного монтажа (чип-элементы), а также элементы для навесного монтажа.

Топология печатной платы, включая общий вид, вид с верхней стороны и вид с нижней стороны приведена на рис. 6.

Высота навесных компонентов не превышает 12 мм. Удобство такого конструктивного исполнения заключается в том, что опто-акустический выключатель может использоваться как встраиваемый модуль в осветительные приборы, в механические

выключатели, а также в любые другие устройства, где необходимо коммутировать электрическую энергию на нагрузку, мощностью не более 60 Вт.

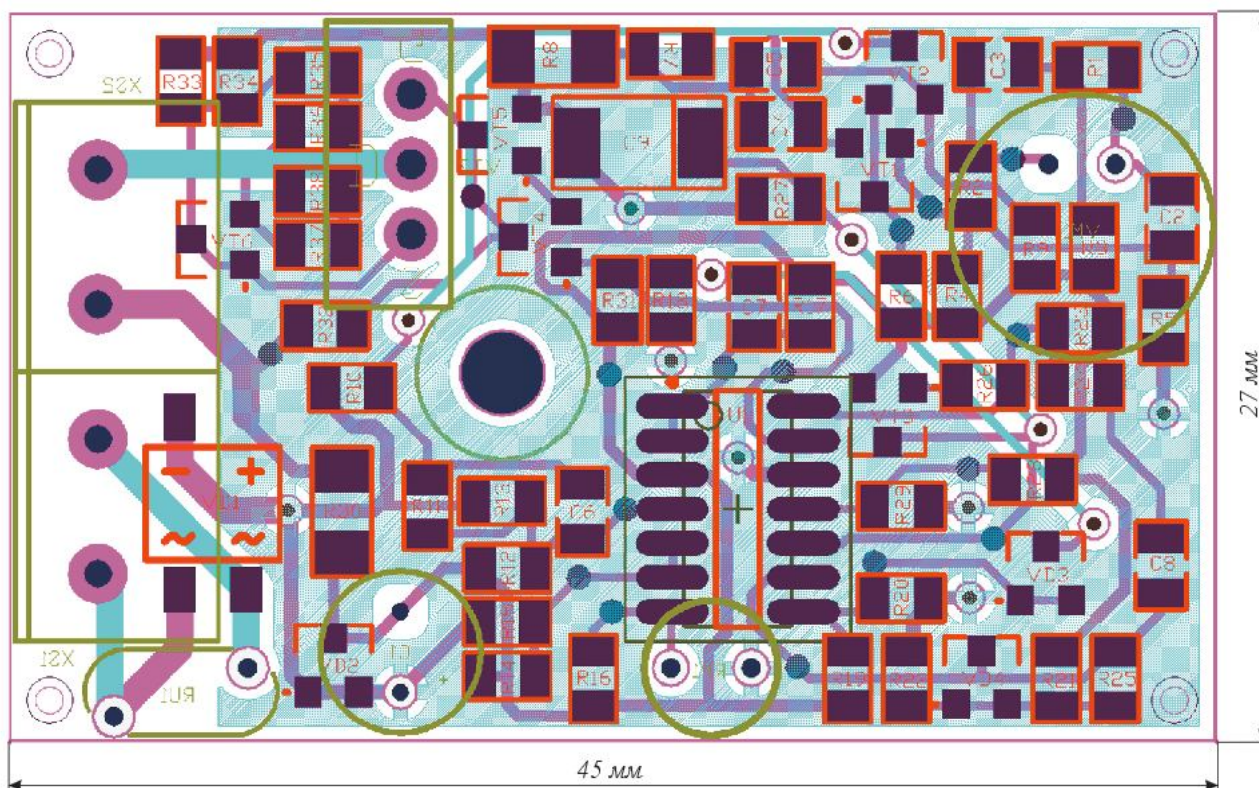


Рис. 6 Топология печатной платы опто-акустического выключателя

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Разработана структурная схема опто-акустического выключателя для энергосберегающих светильников; сформулированы требования, предъявляемые к разработке данного устройства, проработаны варианты его реализации; выбран оптимальный вариант.

2 На основании полученных данных синтезирована принципиальная электрическая схема опто-акустического выключателя.

3 Проведено компьютерное моделирование принципиальной электрической схемы опто-акустического выключателя; рассчитаны временные диаграммы, а также проведена оптимизация значений навесных компонентов.

4 Разработана печатная плата опто-акустического выключателя; размер платы 45 x 27 мм.

Таким образом, подготовлена вся необходимая информация для серийного изготовления опто-акустического выключателя, ориентированного на применение в сфере энергосберегающих технологий.

Список литературы

- 1 Сарычев Г. Пути и проблемы модернизации отечественной светотехники // Полупроводниковая светотехника, 2011, № 1, стр.4.
- 2 Техническая инф. по ИМС LM139. Электронный ресурс. Режим доступа: [www.ti.com/Quad Differential Comparators LM139](http://www.ti.com/Quad%20Differential%20Comparators%20LM139) (дата обращения 27.05.2011 г.).
- 3 Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2005. – 528 с. С. 203.

THE ELECTRONIC AUTOMATIC SWITCH FOR CONTROL OF THE ENERGY EFFICIENCY LIGHTING

Suraykin A. Ivan

N. P. Ogarev's Mordovian State University

Russian Federation, Saransk city,

E-mail: suraykin@mail.ru, tel. (834-2) 290668, 254137

39 (block 16), B. Chmelnitsky str., room 408, 430005, Saransk, Mordovia, Russia

Prokofiev S. Michael

Joint Stock Company "Orbita"

Russian Federation, Saransk city,

E-mail: smprokofiev@mail.ru, tel. (834-2) 254137.

12, Pioneer str., 430904 Yalga, 430904, Saransk, Mordovia, Russia

Annotation. The article provides manual of photo-acoustic switch for the energy efficiency lighting. Provides block diagram, schematics of functional blocks and electrical characteristics, schematic design, simulation and time diagram modeling.

Key words: photo-acoustic switch, electronic switch, timer, photoresistor, microphone.

Сурайкин Александр Иванович

Россия, РМ, г. Саранск

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва

E-mail: suraykin@mail.ru

Тел. +7-8342-29-06-68, 25-41-37

Окончил Мордовский государственный университет в 1985 г. по специальности «Полупроводники и диэлектрики». С 1985 г. и по настоящее время работает в ОАО «Орбита». В 1998 г. защитил кандидатскую диссертацию в ФГУП НПП «Пульсар», г. Москва. В настоящее время является доцентом кафедры микроэлектроники Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва.

Прокофьев Сергей Михайлович

Россия, РМ, г. Саранск

Открытое акционерное общество «Орбита»

E-mail: smprokofiev@mail.ru

Тел. +7-8342-25-41-37

Окончил Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва в 2005 г. по специальности «Микроэлектроника и твердотельная электроника». С 2006 г. по настоящее время работает инженером-конструктором в ОАО «Орбита».