

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н. П. ОГАРЁВА»

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЕТОТЕХНИКИ  
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОНИКИ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой, к.т.н., доц.



Н. Н. Беспалов

«19» 06 2019 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

**Разработка электронного пускорегулирующего аппарата для  
бактериологических ультрафиолетовых люминесцентных ламп.**

(в форме бакалаврской работы)

Автор бакалаврской работы 19.06.2019  А. В. Яхлов

Обозначение бакалаврской работы БР-02069964-11.03.04-21-19

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Руководитель работы

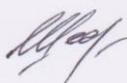
заведующий кафедрой,

к. т. н., доц.

Нормоконтролер



Н. Н. Беспалов



19.06.2019

А. А. Шестеркина

Саранск

2019

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н. П. ОГАРЁВА»

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЕТОТЕХНИКИ  
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОНИКИ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой, к.т.н., доц.

 Н. Н. Беспалов

«12» 11 2018 г.

**ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Студент Яхлов Андрей Васильевич

1 Тема: «Разработка малошумящего пускорегулирующего аппарата для бактерицидных ультрафиолетовых люминесцентных ламп»

Утверждена приказом по МордГУ № 9507-с от 12.11.2018 г.

2 Срок представления работы к защите: 20 июня 2019 г.

3 Исходные данные для выпускной квалификационной работы.

Разработать электронный пускорегулирующий аппарат (ЭПРА) для бактерицидных ультрафиолетовых люминесцентных ламп со следующими характеристиками:

– ЭПРА должен осуществлять регулируемое питание ультрафиолетовых люминесцентных ламп, предназначенных для бактерицидной обработки помещений;

– ЭПРА должен обеспечивать питание ламп, рассчитанных на мощность 8 Вт;

– ЭПРА должен обеспечивать бесперебойную работу ламп с минимальными

электрическими помехами в питающей сети.

4 Содержание выпускной квалификационной работы:

4.1 ВВЕДЕНИЕ.

4.2 Обзор методов и устройств для питания люминесцентных ламп. Выбор и обоснование метода питания и структурной схемы малошумящего ЭПРА.

4.3 Разработка электрической принципиальной схемы малошумящего ЭПРА

4.4 Разработка макетного образца малошумящего ЭПРА и экспериментальные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Руководитель работы



Н. Н. Беспалов

Задание принял к исполнению



А. В. Яхлов

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 47 страниц, 3 таблицы, 33 рисунков, 10 формул, 8 литературных источников.

ЭМПРА, ЭПРА, ДРОССЕЛЬ, КОНДЕНСАТОР, ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ЛАМПА, УЛЬТРАФИОЛЕТ, ФИЛЬТР, КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАЗНОСТЬ ФАЗ, КПД, LM555.

Объект исследования: малошумящий электронный пускорегулирующий аппарат для питания бактериологических ультрафиолетовых люминесцентных ламп.

Цель исследования: разработка малошумящего электронного пускорегулирующего аппарата для питания бактериологических ультрафиолетовых люминесцентных ламп.

Полученные результаты: разработана электрическая принципиальная схема малошумящего электронного пускорегулирующего аппарата для питания бактерицидных ультрафиолетовых люминесцентных ламп, проведено моделирование в программном комплексе Multisim 11, выбраны необходимые элементы для реализации данной задачи

					<b>БР-02069964-11.03.04-21-19</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Яхлов А. В.		19.06.19	Разработка электронного пускорегулирующего аппарата для бактерицидных ультрафиолетовых люминесцентных ламп	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Беспалов Н. Н.		19.06.19			4	47
Н. Контр.		Шестеркина А.А.		19.06.19		МГУ им. Н. П. Огарёва ИЭС П 411 гр.		
Утверд.		Беспалов Н. Н.		19.06.19				

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Обзор методов и устройств для питания люминесцентных ламп. Выбор и обоснование метода питания и структурной схемы малощумящего ЭПРА.	7
1.1 Люминесцентные лампы. Устройство и принцип работы	7
1.2 Вольт-амперная характеристика люминесцентных ламп	8
1.3 Пускорегулирующие аппараты для питания люминесцентных ламп	10
1.2.1 Электромагнитные помехи, создаваемые ЭПРА	14
1.4 Выбор метода питания бактерицидных ультрафиолетовых ламп. Структурная схема	20
1.5 Обзор электронных пускорегулирующих аппаратов	23
2 Разработка электрической принципиальной схемы малощумящего ЭПРА	26
2.2 Моделирование работы малощумящего ЭПРА в программной среде Multisim 11	26
2.3 Разработка электрической принципиальной схемы малощумящего ЭПРА для питания бактерицидной ультрафиолетовой лампы на 8 Вт	37
2.3.1 Разработка электрической принципиальной схемы внутреннего источника питания малощумящего ЭПРА	39
3 Разработка макетного образца малощумящего ЭПРА и экспериментальные исследования	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	47

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на цели освещения расходуется свыше 10% вырабатываемой в стране электрической энергии. Более 70% генерируемого светового потока создается экономичными разрядными источниками света, прежде всего ртутными лампами низкого и высокого давления.

Технические и экономические параметры разрядных ламп, светильников, облучателей, осветительных и облучательных установок существенно зависят от параметров пускорегулирующих аппаратов (ПРА), без которых не могут работать практически все разрядные лампы. От параметров ПРА зависят световая отдача, срок службы люминесцентной лампы, габаритные размеры установки, стоимость светильника и затраты на осветительную установку.

Существует два основных метода питания люминесцентных ламп: через ПРА с использованием электромагнитного дросселя (ЭмПРА) и использование специального ПРА с высокочастотным преобразователем (ЭПРА). Основным недостатком ЭПРА является наличие высоких электромагнитных помех, создаваемых им в питающей сети.

Таким образом, применение светильников с ЭПРА может нарушать работу высокоточного оборудования, что требует решения.

					БР-02069964-11.03.04-21-19	Лист
Из	Ли	№ докум.	Подпи	Д		6

# 1 Обзор методов и устройств для питания люминесцентных ламп. Выбор и обоснование метода питания и структурной схемы малошумящего ЭПРА

## 1.1 Люминесцентные лампы. Устройство и принцип действия

Люминесцентная лампа (ртутная лампа низкого давления; далее ЛЛ) является газоразрядным источником света. Конструктивно представляет собой стеклянную трубку со слоем люминофора, нанесённым на ее внутреннюю поверхность (рисунок 1).

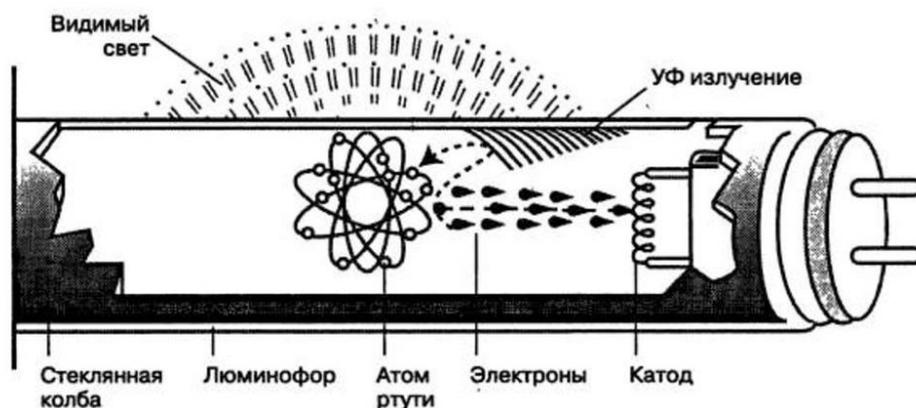


Рисунок 1 — Строение люминесцентной лампы

Из торцов стеклянной трубки выведены вольфрамовые спиральные электроды. Внутри лампы находятся разрежённые пары ртути и инертный газ — аргон. Давление ртутных паров в ЛЛ зависит от температуры стенок лампы и при рабочей температуре 40°C составляет примерно  $10^{-2} \dots 10^{-3}$  мм рт. ст. Из-за такого низкого давления получается интенсивное излучение разряда в ультрафиолетовой области спектра преимущественно с длиной волны 184,9 и 253,7 нм. Под действием внешнего электрического напряжения, приложенного к электродам, в лампе возникает газовый разряд. Ток, проходящий через пары

ртути, вызывает ультрафиолетовое излучение. Ультрафиолетовое излучение, попадая на люминофор, который нанесен на внутреннюю поверхность лампы, заставляет его светиться. Таким образом, люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение газового разряда в видимый свет. Стекло, из которого изготовлена ЛЛ, препятствует выходу жёсткого ультрафиолетового излучения, тем самым защищая окружающее пространство от воздействия ультрафиолета. Исключением являются специальные бактерицидные и ультрафиолетовые лампы. При их изготовлении применяются увиолевое или кварцевое стекло, пропускающее ультрафиолет.

Широкое применение ЛЛ связано с тем, что они имеют ряд преимуществ перед классическими лампами накаливания:

- высокий КПД — 20...25% (у ламп накаливания около 7%);
- высокая светоотдача;
- длительный срок службы — 15000...20000 часов (у ламп накаливания около 1000 часов).

ЛЛ имеют следующие недостатки:

- для питания ЛЛ необходимо использовать специальный балласт — пускорегулирующий аппарат (ПРА). Это электротехническое устройство, которое обеспечивает режимы зажигания ЛЛ и её дальнейшую нормальную работу;
- зависимость устойчивой работы и зажигания лампы от температуры окружающей среды (оптимальным считается температура 20°C) [1].

## 1.2 Вольт-амперная характеристика люминесцентных ламп

Для того чтобы ЛЛ начала светить, необходимо предварительно разогреть нити накала, а затем приложить к электродам сравнительно высокое поджигающее напряжение в  $U_I = 200...1200\text{В}$ .

					<i>БР-02069964-11.03.04-21-19</i>	<i>Лист</i>
						8
<i>Из</i>	<i>Ли</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпи</i>	<i>Д</i>		

Под воздействием внешнего электрического поля сформировавшееся вблизи нитей накала электронное облако приходит в движение и благодаря соударениям электронов с атомами газа и ртути ионизирует газовую смесь — сопротивление ионизированного газа резко уменьшается. Процесс рекомбинации электронов и положительных ионов ртути в нейтральные атомы сопровождается ультрафиолетовым излучением, которое преобразует в видимый свет люминофор, нанесенный на внутреннюю поверхность стеклянного баллона.

На рисунке 1.2 сплошной линией показана статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) люминесцентной лампы.

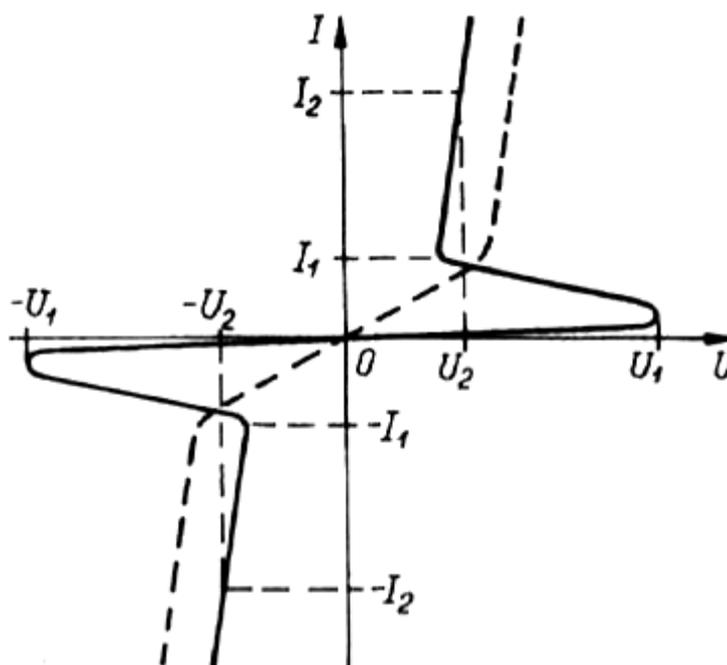


Рисунок 2 — ВАХ люминесцентной лампы

Она поджигается при напряжении  $U_1$  и в рабочем режиме напряжение на ней уменьшается до  $U_2$ , а ток — увеличивается до величины  $I_2$ . На участке ВАХ от точки зажигания (электрического пробоя при напряжении  $U_1$ ) до точки с начальным потребляемым током  $I_1$  лампа имеет отрицательное сопротивление. После выхода лампы в рабочий режим ( $U_2, I_1$ ) напряжение накала отключают. Повторное поджигание люминесцентной лампы не требуется, поскольку при

питании от источника переменного ионизированный газ не успевает перейти в непроводящее состояние.

Штриховой линией на рисунке 2 показана ВАХ (для амплитудного значения напряжения и эффективного значения тока) при питании лампы током высокой частоты (более 10 кГц). На частоте 50 Гц ВАХ лампы существенно отличается от рассмотренных. Пускорегулирующие аппараты ограничивают ток тлеющего разряда после зажигания, когда для поддержания процесса ионизации газа достаточно электронов, выбиваемых ионизированными атомами из вольфрамовой нити накала, покрытой специальным материалом, как и в радиолампах.

С лампами общего назначения применяют ПРА двух типов — электромагнитные (ЭмПРА) и электронные (ЭПРА). Коммутацию тока через нити накала обеспечивает газоразрядная лампа с термоконтактами, шунтированным высоковольтным конденсатором, и объединённая с ним в отдельном сменном устройстве, получившем название стартера [2].

### **1.3 Пускорегулирующие аппараты для питания люминесцентных ламп**

Электромагнитный (ЭмПРА) — состоит из дросселя и стартера. Его преимущества — простота и низкие электромагнитные помехи, создаваемые в питающей сети. К недостаткам относят: низкий КПД, пульсации светового потока, низкий коэффициент мощности, гудение, стробоскопический эффект. На рисунке 3 стандартная электрическая принципиальная схема светильника на основе люминесцентной лампы с питанием от ЭмПРА.

					БР-02069964-11.03.04-21-19	Лист
Из	Ли	№ докум.	Подпи	Д		10

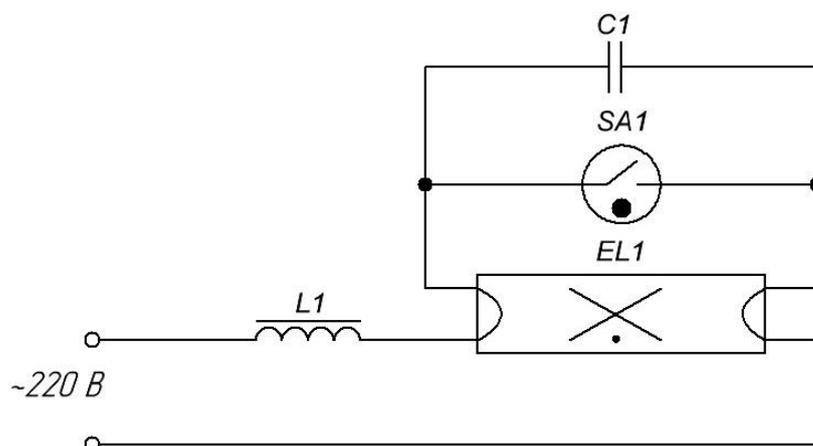


Рисунок 3 — Стандартная электрическая принципиальная схема светильника на основе люминесцентной лампы с питанием от ЭПРА

Электронные (ЭПРА) — современный источник питания для люминесцентных ламп, он представляет собой плату, на которой расположен высокочастотный преобразователь. Лишен всех перечисленных выше недостатков, благодаря чему лампы выдают большой световой поток и срок службы.

Типовая схема ЭПРА (рисунок 4) состоит из следующих элементов:

- 1) диодный мост;
- 1) высокочастотный генератор, выполненный на ШИМ-контроллере (в дорогих моделях) или на автогенераторной схеме с полумостовым (чаще всего) преобразователем;
- 2) пусковой пороговый элемент (обычно динистор с пороговым напряжением 30В);
- 3) разжигающей силовой LC-цепи.

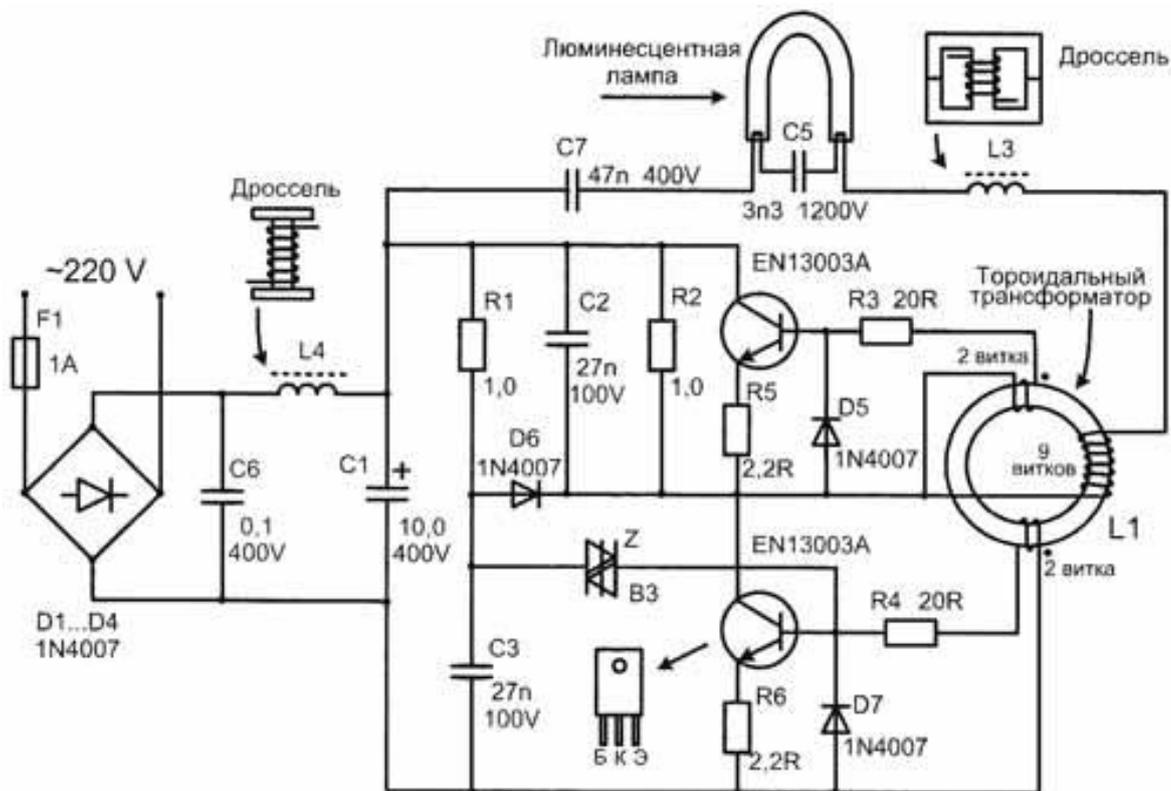


Рисунок 4 — Типовая схема ЭПРА применяемая в люминесцентных светильниках

ЭПРА работает следующим образом. Переменное напряжение поступает на диодный мост, где выпрямляется и сглаживается фильтрующим конденсатором. В нормальном случае до моста устанавливают предохранитель и фильтр электромагнитных помех. После этого напряжение поступает на автогенератор. Автогенератор — это схема, которая самостоятельно генерирует колебания. Она выполнена на одном или двух транзисторах, в зависимости от мощности. Транзисторы подключены к трансформатору с тремя обмотками. Обычно используются транзисторы типа MJE 13003 или MJE 13001 и подобные, в зависимости от мощности лампы.

Трансформатор представлен в виде ферритового кольца, на которое намотано три обмотки, по несколько витков каждая. Две из них управляющие, в каждой по два витка, а одна — рабочая с 9 витками. Управляющие обмотки создают импульсы включения и выключения транзисторов, соединены одним из концов с их базами.

Из	Лу	№ докум.	Подпи	Д
----	----	----------	-------	---

Обмотки намотаны в противофазе и импульсы управления противоположны друг другу. Рабочая обмотка одним концом подключена к точке между транзисторами, а вторым к рабочим дросселю и конденсатору, через нее происходит питание лампы. При протекании тока в одной из обмоток в двух других наводится ЭДС соответствующей полярности, которое и приводит к переключениям транзисторов.

Автогенератор настроен на частоту выше звукового диапазона, то есть выше 20 кГц. Из-за высокой частоты удается достигнуть малых габаритов трансформатора. Именно этот элемент является преобразователем постоянного тока в ток переменной частоты.

Для запуска генератора установлен динистор, который включает схему после того как напряжение на нем достигнет определённого значения. Обычно устанавливают динистор, который открывается в диапазоне напряжений около 30 В. Время, через которое он откроется, задается RC-цепью.

Минусом такого источника питания люминесцентных ламп является наличие высокочастотного преобразователя, из-за которого в питающую сеть и окружающую среду будут поступать электромагнитные помехи.

Кроме ЭМПРА и ЭПРА для питания люминесцентных ламп можно использовать умножитель напряжения (рисунок 5) [3].

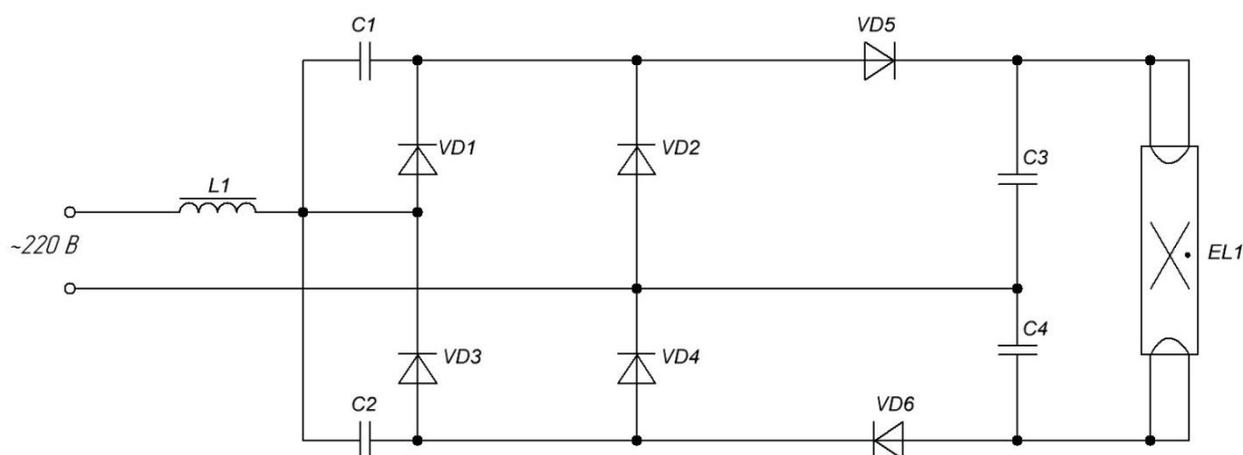


Рисунок 5 — Типовая схема умножителя напряжения для питания люминесцентной лампы

Такой способ питания люминесцентной лампы позволяет производить холодный пуск, а из-за отсутствия в схеме стартера люминесцентная лампа будет загораться практически мгновенно. Поскольку схема обеспечивает питание лампы от постоянного тока, то существенно снижаются электромагнитные помехи в питающей сети и окружающей среде, а отсутствие высокочастотного преобразователя существенно упрощает схему. Недостатками такой схемы питания являются следующие:

- ртуть скапливается у одного конца лампы из-за протекания тока только в одном направлении;
- низкий коэффициент мощности  $\cos\phi$  из-за наличия дросселя [4].

### 1.3.1 Электромагнитные помехи, создаваемые ЭПРА

Поскольку, в схеме ЭПРА присутствует высокочастотный преобразователь, то в питающую сеть и окружающую среду будут поступать электромагнитные помехи. Были проведены исследования ПРА для люминесцентных ламп на электромагнитную совместимость.

Исследования проводились на аппаратуре немецкого производства Rohde&Schwarz. Сам аппарат состоит из двух приборов:

1. эквивалент трехфазной сети ESH2-Z5;
2. приемник электромагнитных помех ESPI 3.

В исследовании на электромагнитную совместимость рассматривалось три схемы ПРА для люминесцентных ламп с разными принципами работы.

Первой проверенной схемой ПРА была схема электронного пускорегулирующего аппарата (ЭПРА) для люминесцентной лампы марки IEK на 8 Вт (рисунок 6).



Рисунок 6 — Схема подключения ЭПРА для исследования на электромагнитную совместимость

Схема состоит и люминесцентной лампы *EL1* и ЭПРА. Результаты исследования электромагнитной совместимости показаны на рисунке 1.7. На диаграмме изображены два уровня красного цвета:

1) Уровень EN55022Q – это максимально допустимое квазипиковое значение помех оно предназначается, для частотной характеристики обозначенной синим цветом.

2) Уровень EN55022A – это максимально допустимое среднее значение помех оно относится к характеристике черного цвета. Превышение этих уровней говорит о превышении допустимых помех в сети.



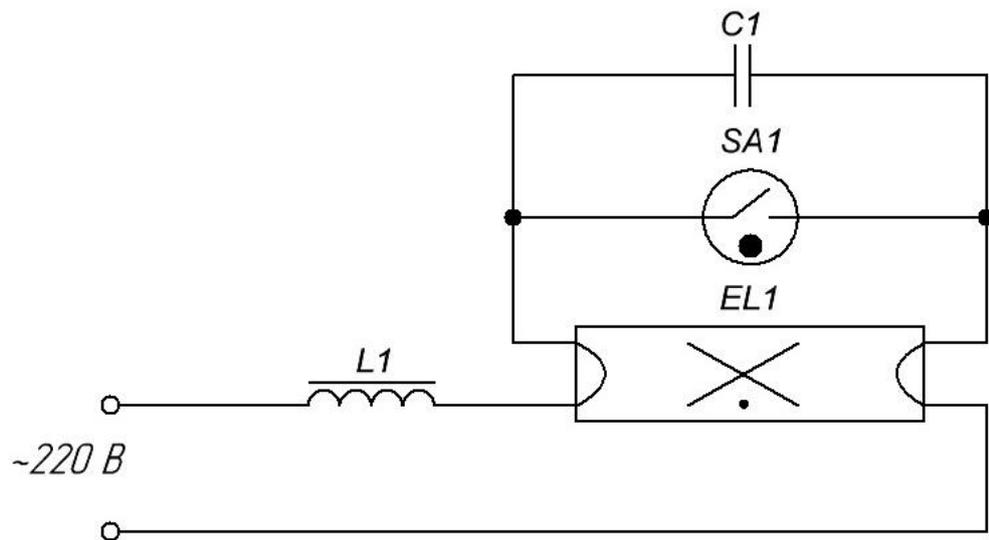
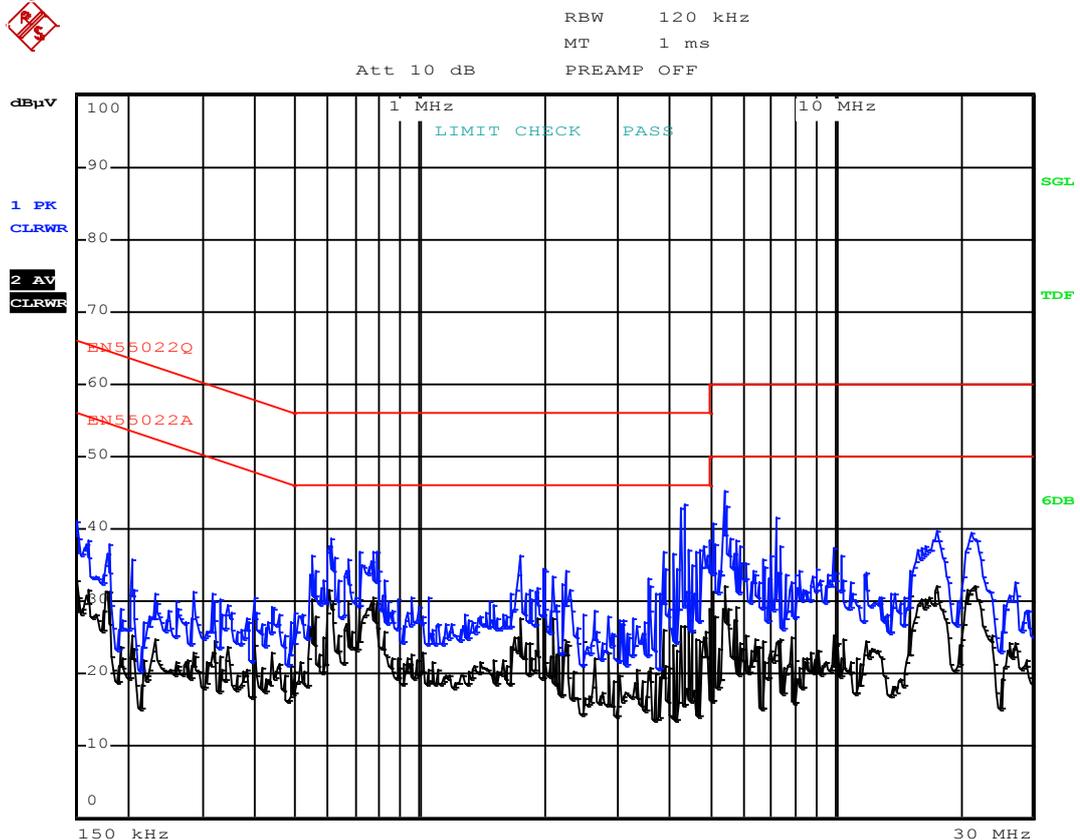


Рисунок 8 — Схема ПРА с электромагнитным дросселем

В этой схеме для зажигания лампы используется ЭДС самоиндукции дросселя  $L1$  создаваемый пускателем  $SA1$ . После зажигания люминесцентной лампы дроссель работает в качестве ограничителя тока. Мощность исследуемой лампы 8 Вт.

Диаграмма исследуемой схемы с ЭмПРА показана на рисунке 9.



Date: 21.DEC.2016 13:09:01

Рисунок 9 — Диаграммы распределения электрических помех люминесцентной лампы с ЭмПРА

Из диаграмм видно, что частотная характеристика не пересекает линии красного цвета и находится под ними. Такая схема соединения лампы ранее использовалась довольно часто сейчас они заменяются на энергосберегающие драйвера (ЭПРА). По результатам данной диаграммы можно сделать вывод, что ЭмПРА, более качественен в плане электромагнитной совместимости. Такая схема более успешно пройдет сертификацию на электромагнитную совместимость.

Последняя схема, над которой проводили исследования, представляет собой удвоитель напряжения и дроссель как ограничителя тока. Схема показана на рисунке 10.

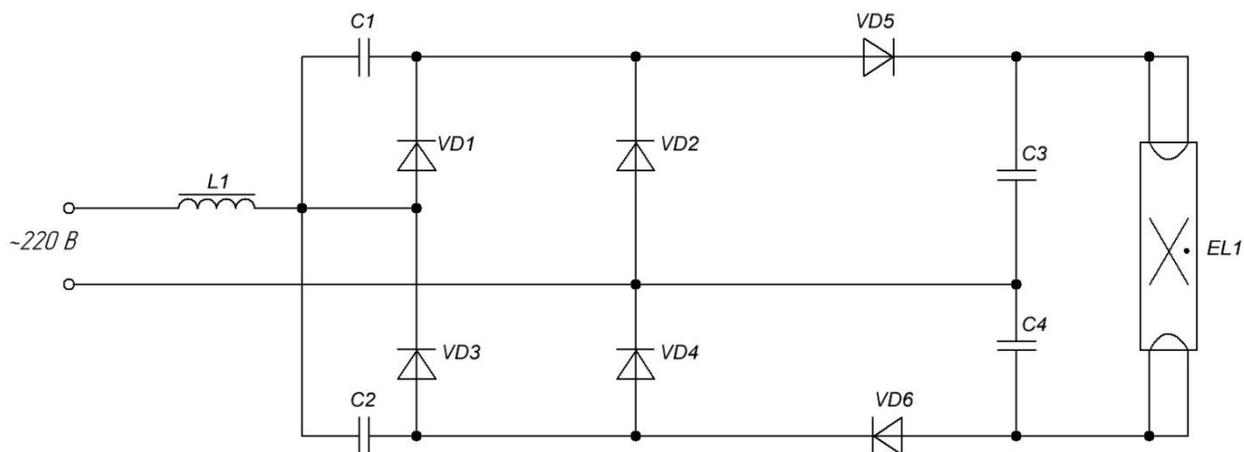
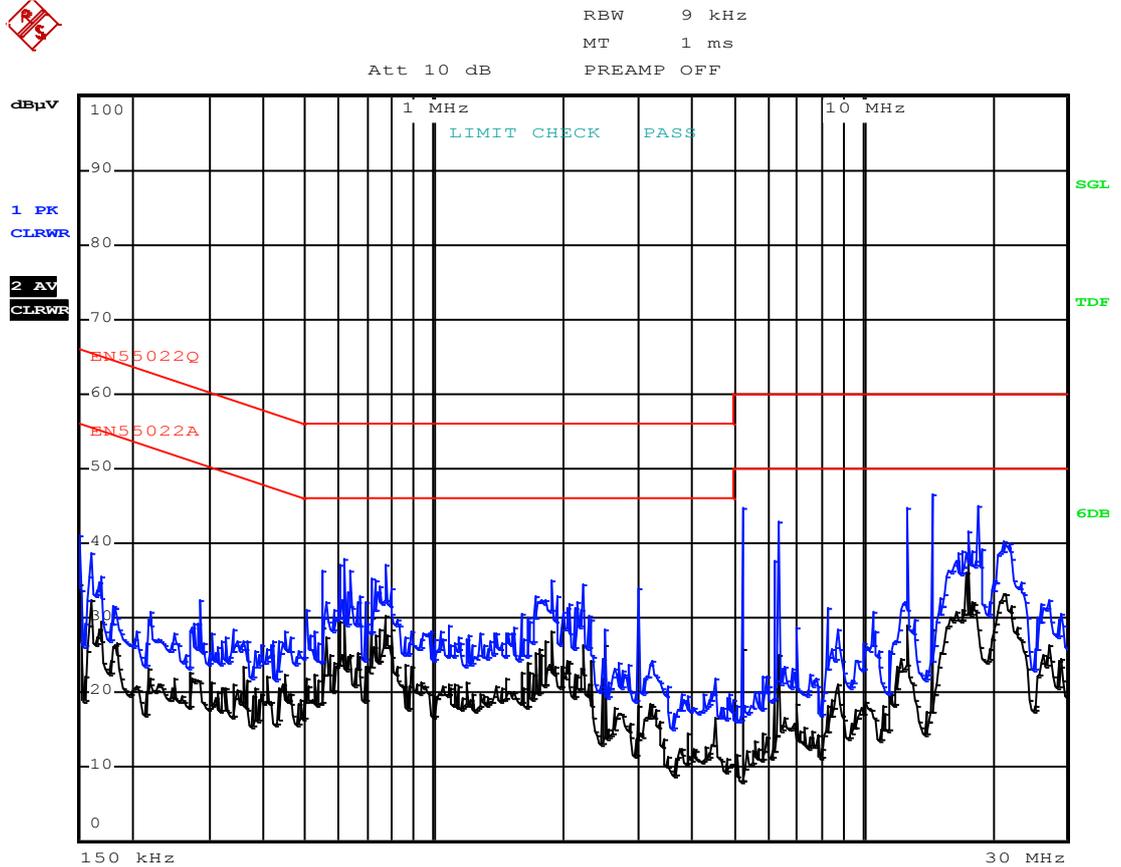


Рисунок 10 — Схема удвоителя напряжения для питания люминесцентной лампы

В данной схеме удвоитель напряжения ( $VD1-VD6$ ,  $C1-C4$ ) используется для зажигания лампы, а дроссель  $L1$  ограничивает ток в цепи лампы  $EL1$  и в удвоителе. При исследовании на электромагнитную совместимость применялся дроссель типа L100 на 220 В.

Измеренная частотная характеристика показана на рисунке 11.



Date: 21.DEC.2016 13:06:32

Рисунок 11 — Диаграммы распределения электрических помех схемы лампы с удвоителем напряжения

Данная диаграмма отличается от предыдущих полученных результатов плавной характеристикой. Такая схема будет создавать меньше помех в питающей сети и легко пройдет сертификацию на электромагнитную совместимость.

## 1.4 Выбор метода питания бактерицидных ультрафиолетовых ламп. Структурная схема ПРА

Из	Ли	№ докум.	Подпи	Д

БР-02069964-11.03.04-21-19

Лист

20

На сегодняшний день существует большое многообразие ЭПРА, которые применяются не только для питания обычных люминесцентных ламп, но и для питания ультрафиолетовых люминесцентных ламп. Главным минусом почти всех ЭПРА является не только экономия производителями на элементной базе, но и содержание высокочастотного преобразователя в схемах ЭПРА.

Наличие высокочастотного преобразователя в схеме приводит к появлению электромагнитных помех в питающей сети и окружающей среде. Именно поэтому ставят дополнительные фильтры, а платы ЭПРА пытаются сделать как можно меньше.

Все ЭПРА питают люминесцентные лампы переменным током. Из-за этого частота мерцания света, излучаемого люминесцентной лампой, зависит от сглаживающего фильтра стоящего на выходе ЭПРА.

В идеале стремятся к тому, чтобы источник питания люминесцентных ламп не выдавал электромагнитные помехи в питающую сеть и окружающую среду, имел компактные размеры и не дорогую элементную базу. Под такое описание подходит схема с удвоителем напряжения. Такая схема сможет обеспечить питание люминесцентной лампы постоянным током, что снизит электромагнитные помехи. В качестве ограничителя тока выступает дроссель, который можно заменить любым другим ограничителем тока, например конденсатором.

Поскольку схема ПРА с удвоителем напряжения обеспечивает наименьшие электромагнитные помехи, то целесообразно использовать ее в качестве основы для питания бактерицидных ультрафиолетовых ламп.

Были разработаны два варианта структурных схем удвоителя напряжения для питания бактерицидных ультрафиолетовых люминесцентных ламп. В первом варианте структурной схемы в роли ограничителя тока выступает дроссель (рисунок 12). Во втором варианте разработанной структурной схемы в роли ограничителя тока выступает конденсатор (рисунок 13).

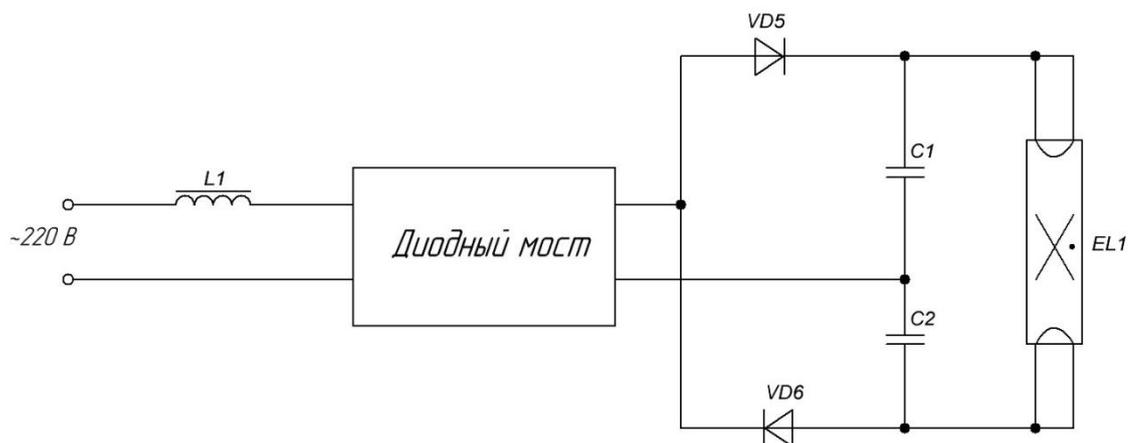


Рисунок 12 — Структурная схема удвоителя напряжения с ограничителем тока в виде дросселя

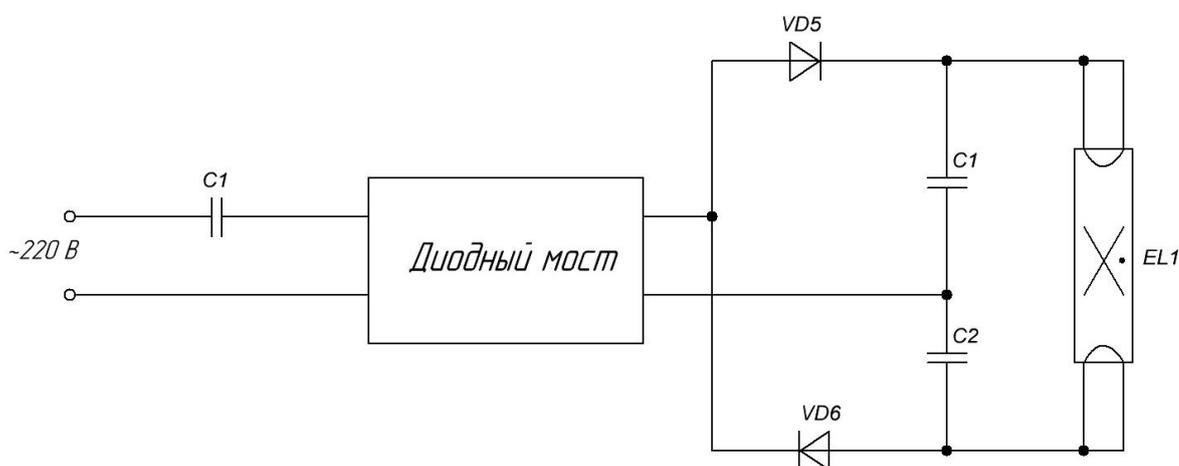


Рисунок 13 — Структурная схема удвоителя напряжения с ограничителем тока в виде конденсатора

В качестве нагрузки используется 8 Ваттная бактерицидная ультрафиолетовая лампа ЛУФТ 8. Напряжение поступает из питающей сети 220 В, 50 Гц. После этого дроссель или конденсатор ограничивают ток, протекающий через нагрузку. Выпрямленное напряжение после диодного моста поступает на удвоитель, где увеличивается два раза и питает люминесцентную лампу.

## 1.5 Обзор электронных пускорегулирующих аппаратов

В настоящее время много крупных фирм производят ЭПРА для питания люминесцентных ламп. К таким фирмам относятся: PHILIPS, OSRAM, FERON, NAVIGATOR и другие.

На рисунке 14 представлен внешний вид ЭПРА ЛЛ 2x58 HF-S TLD II от компании PHILIPS.



Рисунок 14 — ЭПРА ЛЛ 2x58 HF-S TLD II от компании PHILIPS

Параметры ЭПРА представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры ЭПРА ЛЛ 2x58 HF-S TLD II

Параметр	Значение
Входное напряжение	220-240 В
Входная частота	50-60 Гц
Рабочая частота	46 кГц
Коэффициент мощности при нагрузке 100 % (ном.)	0,98
Время предварительного нагрева	1,6 с
Номинальная мощность балласта-лампы	58 Вт

Среднерыночная цена ЭПРА ЛЛ 2x58 HF-S TLD II составляет 660 рублей. Такая цена обусловлена высоким качеством изготовления ЭПРА.

Минусом ЭПРА ЛЛ 2x58 HF-S TLD II является то, что он не предназначен для питания ультрафиолетовых люминесцентных ламп.

На рисунке 15 показана модель ЭПРА-Л 220-1x75-2201-07 для ультрафиолетовых люминесцентных ламп [6].



Рисунок 15 — ЭПРА-Л 220-1x75-2201-07 для ультрафиолетовых люминесцентных ламп

Электронный пускорегулирующий аппарат ЭПРА-Л 220-1x75-2201-07 предназначен для зажигания и обеспечения рабочего режима одной ультрафиолетовой лампы мощностью 75 Вт. Данный ЭПРА обладает стальным корпусом, предварительным прогревом электродов и не имеет регулировки мощности.

Аппарат ЭПРА-Л 220-1x75-2201-07 используется в установках для обеззараживания воды и воздуха типа УОВ-50м-65 и других. Такой тип ЭПРА является специализированным, так как изготовлен только для питания ультрафиолетовых люминесцентных ламп мощностью 75 Вт.

Стоимость такого ЭПРА составляет 1860 рублей, что обусловлено его спецификой применения.

На рисунке 16 показана модель бюджетной ЭПРА ETL-218-A2 2x18Вт T8/G13 от китайского производителя ASD.



Рисунок 16 — ЭПРА ETL-218-A2 2x18Вт T8/G13

Такой ЭПРА может запитать сразу две 18 Ватных люминесцентных лампы. Среднерыночная цена ЭПРА составляет 150 рублей, что связано с экономией производителя на элементной базе. Следовательно, такой ЭПРА является не надежным и может выйти из строя при скачках напряжения в питающей сети.

Стоит упомянуть, что большинство производителей экономит на элементной базе, что пагубно сказывается не только на работе люминесцентной лампы, но и на работе приборов, включенных в общую сеть с таким ЭПРА.

## 2 Разработка пускорегулирующего аппарата для питания бактерицидных ультрафиолетовых ламп

### 2.1 Моделирование работы малошумящего ПРА в программной среде Multisim

Проведем моделирование разработанных схем в программной среде Multisim 11. Схема ЭПРА с множителем напряжения и ограничителем тока в виде дросселя, собранная в программе Multisim 11, показана на рисунке 17.

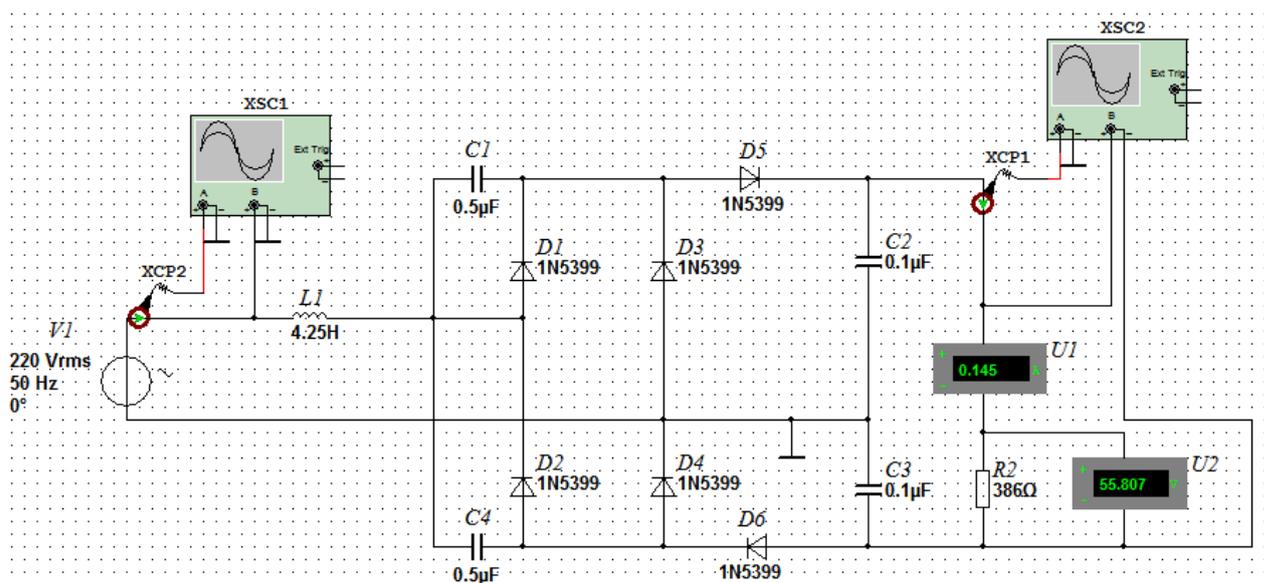


Рисунок 17 — Схема ЭПРА с множителем напряжения и ограничителем тока в виде дросселя для питания люминесцентной лампы, собранная в программе Multisim 11.

При моделировании использовались диоды 1N5399, основные параметры которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Основные параметры диода 1N5399

Название параметра	Величина
Максимальное постоянное обратное напряжение, В	1000
Максимальное импульсное обратное напряжение, В	1200
Максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток, А	1,5
Максимально допустимый прямой импульсный ток, А	50
Максимальное прямое напряжение при токе 1,5 А, В	1,2
Рабочая температура, С	-60...150
Корпус	do15

В качестве нагрузки использовалось упрощённое представление бактериологической ультрафиолетовой люминесцентной лампы — активное сопротивление в устоявшемся режиме работы. Параметры бактерицидной ультрафиолетовой люминесцентной лампы на 8 ватт (далее лампа). Параметры лампы показаны в таблице 3.

Таблица 3 — Параметры бактерицидной ультрафиолетовой люминесцентной лампы ДБ8

Название параметра	Величина
Мощность, Вт	8
Напряжение на лампе, В	56
Сила тока, А	0,15
Срок службы, ч	9000
Поток излучения, Вт	2,1
Длина лампы, мм	302,5
Тип колбы	T5
Цоколь	G5

Моделирование проводилось следующим образом: подбиралась необходимая индуктивность дросселя, чтобы лампа обеспечивалась требуемой мощностью 8 ватт.

На рисунке 18 показаны осциллограммы входного сетевого тока и напряжения сети.

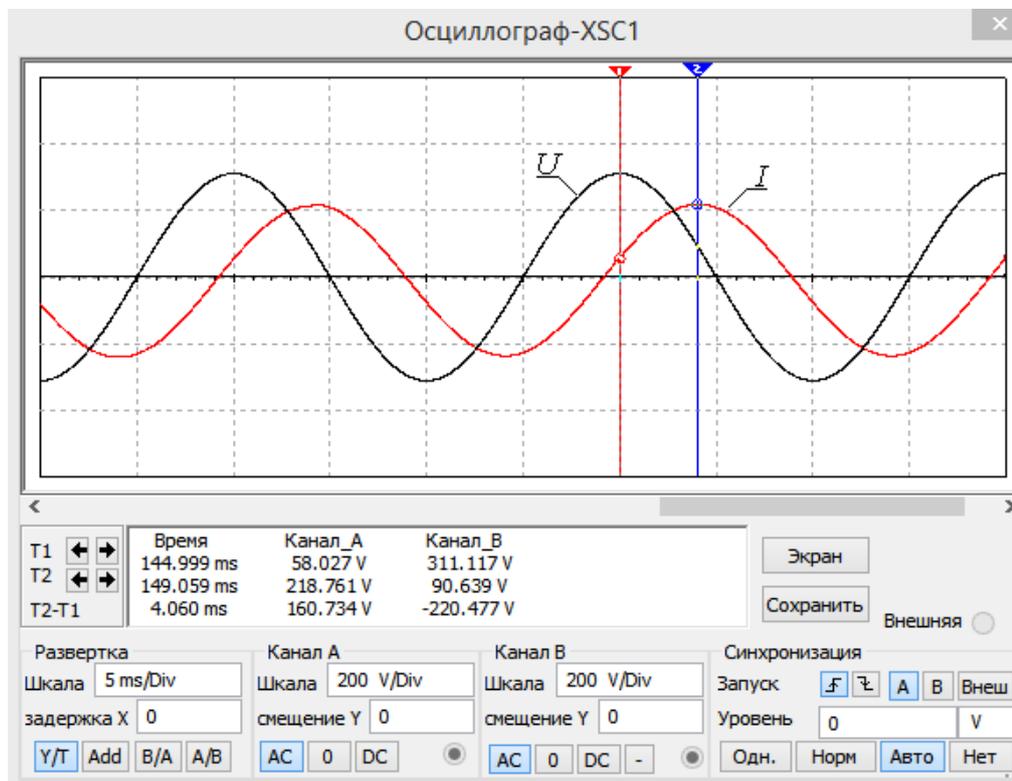


Рисунок 18 — Осциллограммы входного сетевого тока и напряжения сети (осциллограф XSC1)

Из анализа осциллограмм видно, что при использовании дросселя входной ток отстаёт от входного напряжения на 4 миллисекунды, что соответствует углу сдвига начальной фазы тока от начальной фазы напряжения  $\varphi=72^\circ$ . Это означает, что коэффициент мощности источника питания на основе такого решения  $\cos\varphi=0,34$ . Для повышения коэффициента мощности  $\cos\varphi$  необходимо уменьшать влияние индуктивной составляющей дросселя, что требует дополнительной проработки схемного решения.

На рисунке 19 показаны осциллограммы тока в нагрузке и напряжения на ней.

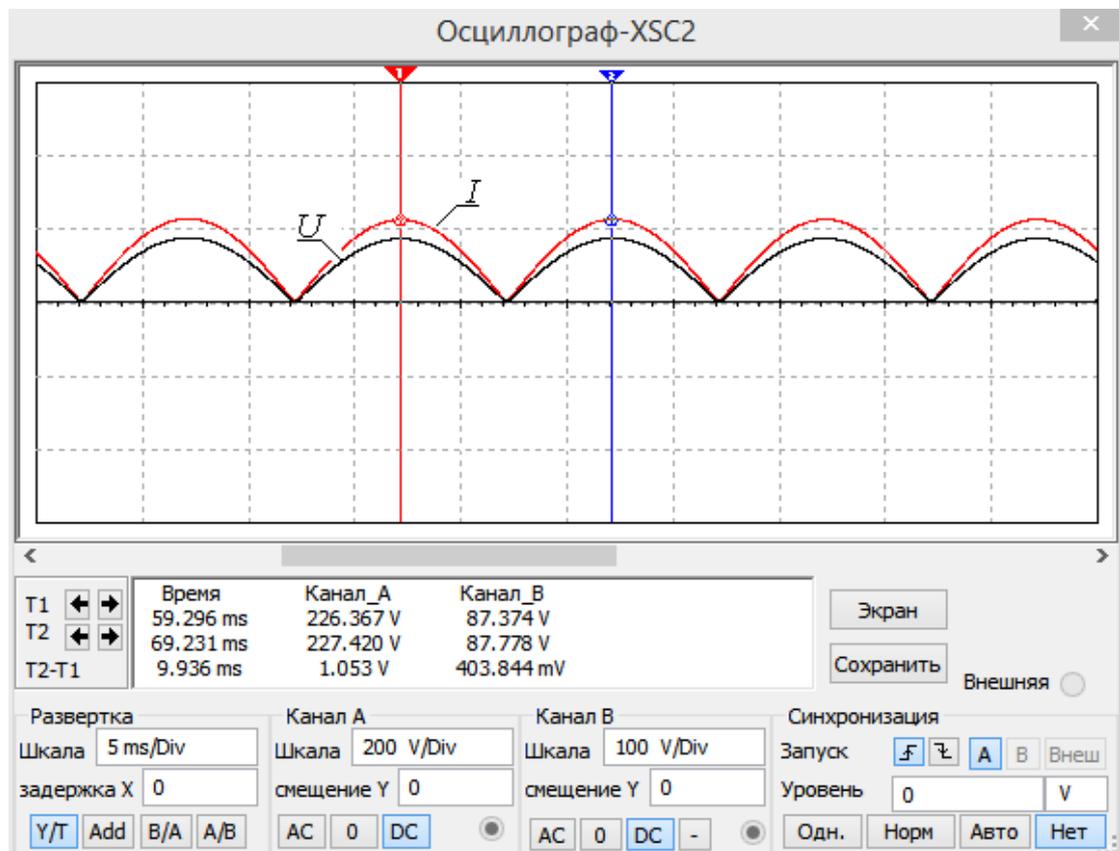


Рисунок 19 — Осциллограммы тока в нагрузке и напряжения на ней (осциллограф XSC2)

Из осциллограмм видно, что напряжение на лампе будет пульсирующее с частотой 100 Гц. Для уменьшения пульсаций тока в нагрузке применим дополнительный фильтр в виде конденсатора. Проведем моделирование схемы ПРА с умножителем напряжения и ограничителем тока в виде дросселя для питания люминесцентной лампы и дополнительным выходным фильтром в виде конденсатора  $C_6$  ёмкостью 5 мкФ (рисунок 20).

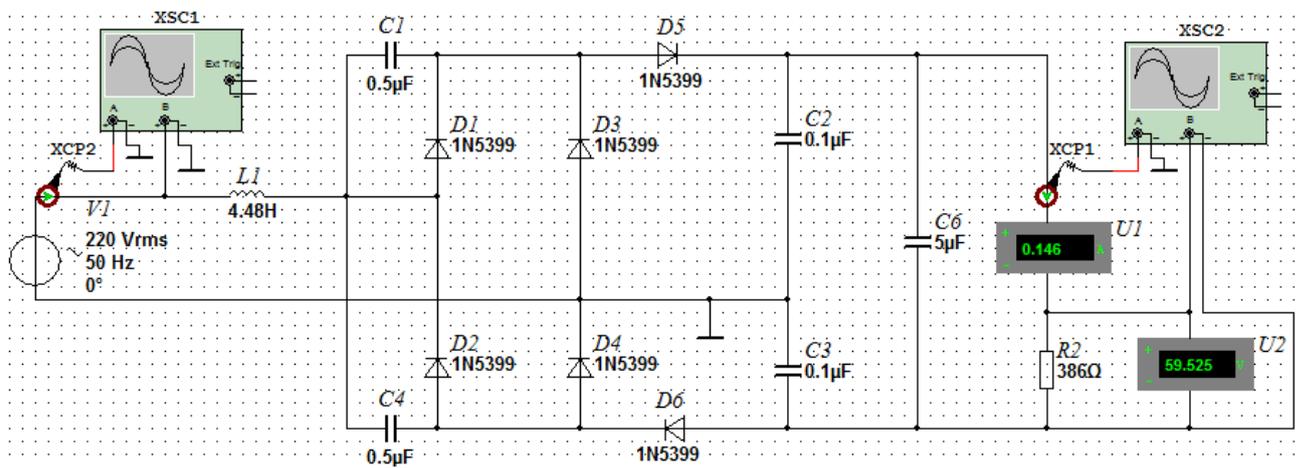


Рисунок 20 — Схема ЭПРА с множителем напряжения и ограничителем тока в виде дросселя для питания люминесцентной лампы и дополнительным выходным фильтром в виде конденсатора  $C6 = 5 \text{ мкФ}$ , собранная в программе Multisim 11

На рисунке 21 показаны временные диаграммы входного сетевого тока и напряжения сети, полученные с помощью осциллографа XSC1, при использовании дополнительного выходного фильтра в виде конденсатора  $C6 = 5 \text{ мкФ}$ .

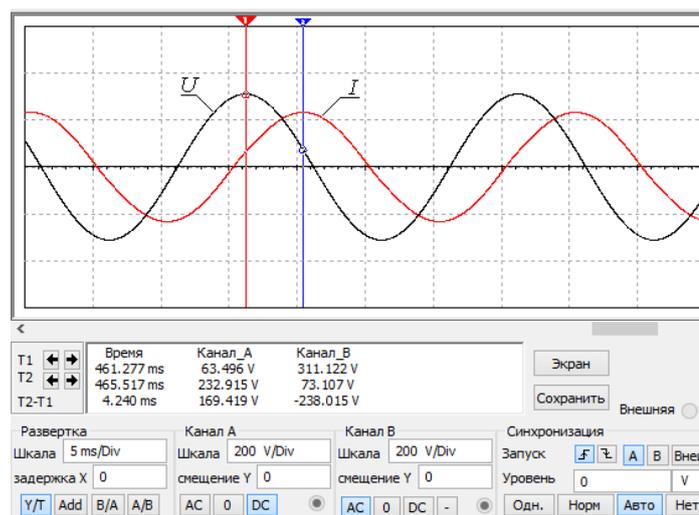


Рисунок 21 — Осциллограммы входного сетевого тока и напряжения сети при использовании дополнительного выходного фильтра в виде конденсатора  $C6 = 5 \text{ мкФ}$  (осциллограф XSC1)



подбиралась необходимая емкость конденсатора, чтобы лампа обеспечивалась требуемой мощностью 8 ватт.

Схема ЭПРА с множителем напряжения и ограничителем тока в виде конденсатора, собранная в программе Multisim 11, показана на рисунке 23.

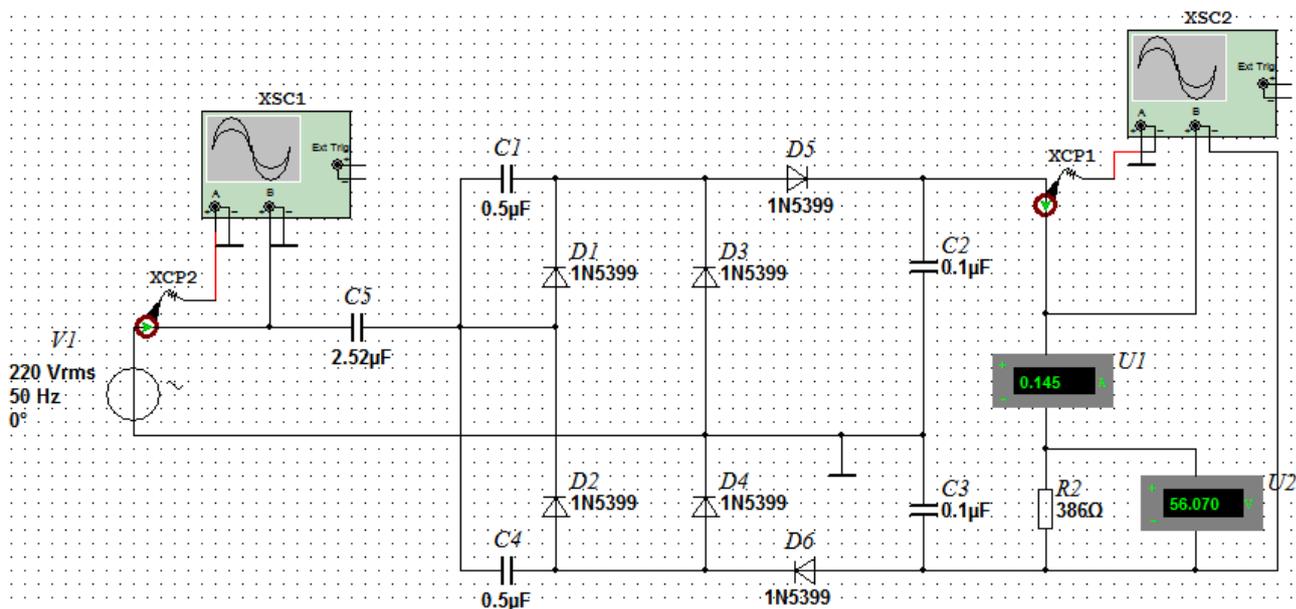


Рисунок 23 — Схема ЭПРА с множителем напряжения и ограничителем тока в виде конденсатора для питания люминесцентной лампы, собранная в программе Multisim 11

На рисунке 24 показаны осциллограммы входного сетевого тока и напряжения сети схемы с множителем напряжения и ограничителем тока в виде конденсатора для питания люминесцентной лампы.

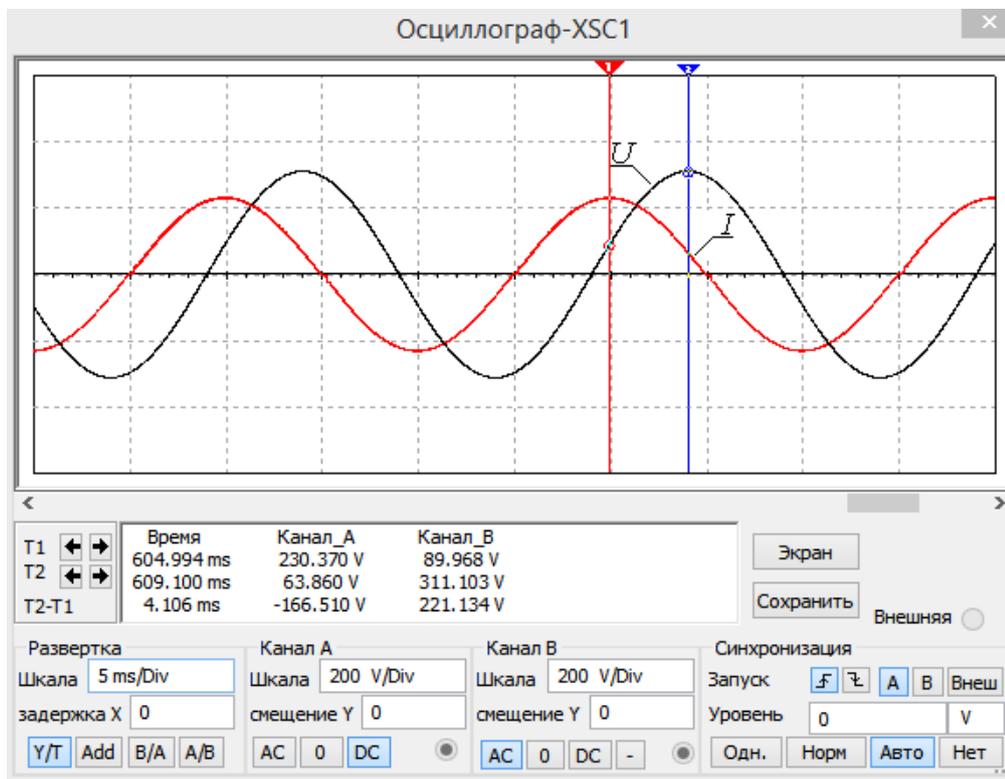


Рисунок 24 — Осциллограммы входного сетевого тока и напряжения сети (осциллограф XSC1)

Из анализа осциллограмм видно, что входной ток опережает входное напряжение на 4,1 миллисекунды, что соответствует  $73,8^\circ$ . Это означает, что коэффициент мощности  $\cos\varphi=0,31$ . Для повышения коэффициента мощности  $\cos\varphi$  необходимо уменьшать влияние ёмкостной составляющей конденсатора, что требует дополнительной проработки схемного решения.

На рисунке 25 показаны осциллограммы тока в нагрузке и напряжения на ней.

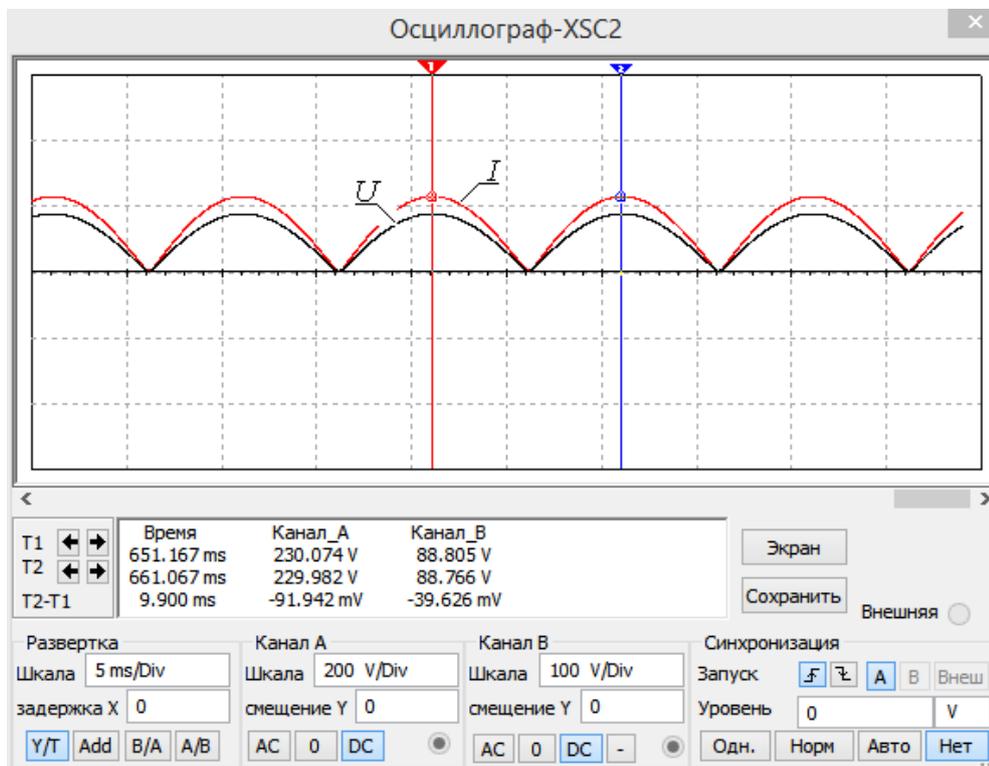


Рисунок 25 — Осциллограммы тока в нагрузке и напряжения на ней (осциллограф XSC2)

Как и в случае с дросселем, напряжение на лампе будет пульсирующее с частотой 100 Гц. Для уменьшения пульсаций тока в нагрузке применим дополнительный фильтр в виде конденсатора. Проведем моделирование схемы ЭПРА с умножителем напряжения и ограничителем тока в виде конденсатора для питания люминесцентной лампы и дополнительным выходным фильтром в виде конденсатора  $C_6$  ёмкостью 5 мкФ (рисунок 26).





- низкие электромагнитные помехи из-за отсутствия высоких частот;
- отсутствие стартерного устройства;
- возможность работы лампы со сгоревшей нитью накала.

Основным недостатком такого схемного решения является низкий коэффициент мощности  $\cos\varphi$ .

## 2.2 Разработка электрической принципиальной схемы маломощного ЭПРА для питания бактерицидной ультрафиолетовой лампы на 8 Вт

Поскольку через лампу будет протекать пост ток то необходимо разработать систему, которая сможет обеспечить переключение направление протекания тока. Такая система может быть реализована с помощью реле, управляемого мультивибратором, который построен на основе таймера LM555.

Схема системы управления током лампы показана на рисунке 29 [7].

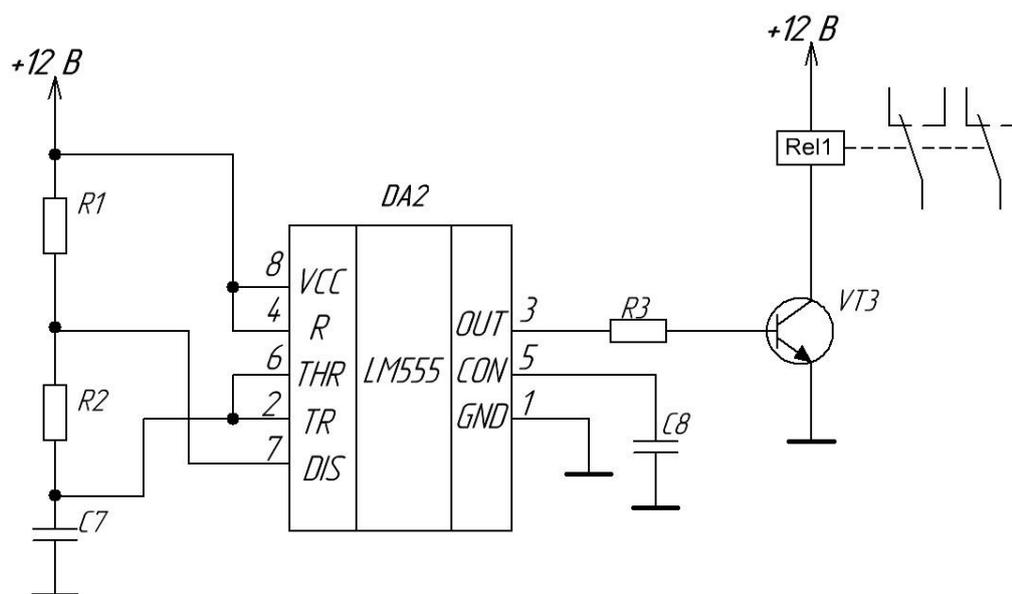


Рисунок 29 — Схема системы управления током лампы

Из	Ли	№ докум.	Подпи	Д
----	----	----------	-------	---

Для расчетов примем сопротивление реле РЭС22 в исполнении РФ4.523.023-05 равным 330 Ом. Реле РЭС22 имеет следующие параметры:

- время срабатывания не более 15 мс;
- время отпускания не более 8 мс;
- рабочее напряжение — 12 В;
- ток срабатывания – 36 мА;
- электрическая прочность изоляции – 500 В.

При подаче питающего напряжения на выходе ОУТ микросхемы LM555 генерируются последовательность управляющих импульсов, которые поступают на ключ в виде транзистора. Длительность импульса  $t_{II}$  и паузы  $t_{II}$  регулируется с помощью резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и конденсатора  $C_7$  согласно формулам:

$$t_{II} = 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_7, \quad (1)$$

$$t_{II} = 0,693 \cdot R_1 \cdot C_7. \quad (2)$$

Поскольку нам надо изменять направление тока через лампу с частотой раз в минуту, то  $t_{II} = t_{II} = 30$  с. Примем  $R_1 = R_2 = 100000$  Ом и найдем номинал конденсатора  $C_7$ :

$$C_7 = \frac{t_{II}}{0,693 \cdot R_2} = \frac{30}{0,693 \cdot 100000} = 432 \text{ мкФ}. \quad (3)$$

Возьмем конденсатор из стандартного ряда с номинальной ёмкостью  $C_7 = 470$  мкФ SH016M0470A5F-0811, (K50-35) 16 В. С учётом пересчета возьмём резисторы с сопротивлением  $R_1 = R_2 = 111000$  Ом. Из стандартного ряда возьмём  $R_1 = R_2 = 100$  кОм. CF-100 (C1-4) 1 Вт, 100 кОм,  $\pm 5\%$ .

В качестве ключа для управления реле РЭС22 используется транзистор BC139. Параметры транзистора BC139:

- $h_{21} = 40$ ;
- $U_{кЭ} = 40$  В;

–  $I_K = 500$  мА.

Рассчитаем токоограничивающий базовый резистор  $R_3$ . Зная коэффициент передачи тока, рассчитаем ток  $I_{\bar{o}}$ , необходимый для открытия транзистора.

$$I_{\bar{o}} = \frac{I_K}{h_{21}} = \frac{40 \cdot 10^{-3} \text{ А}}{40} = 1 \text{ мА}, \quad (4)$$

где  $I_K$  — ток, проходящий через реле РЭС22.

Зная ток  $I_{\bar{o}}$  рассчитаем сопротивление  $R_3$ :

$$R_3 = \frac{U_y - U_{\bar{o}o}}{I_{\bar{o}}} = \frac{12\text{В} - 0,7\text{В}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 11300 \text{ Ом}, \quad (5)$$

где  $U_y$  — напряжение на выходе ОУТ микросхемы LM555,

$U_{\bar{o}o}$  — напряжение между базой и эмиттером транзистора BC139.

Выберем сопротивление  $R_1$  из стандартного ряда номинала 11000 Ом.

Рассчитаем мощность, выделяемую на этом резисторе:

$$P_{R_3} = I_{\bar{o}}^2 \cdot R_3 = (1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 11000 = 0,011 \text{ Вт}. \quad (6)$$

Выберем резистор CF-25 (С1-4), 0,25 Вт, 11 кОм, 5%. Берем конденсатор С8 ёмкостью 10 нФ, 1000 В 10% СL 11.

### 2.2.1 Разработка электрической принципиальной схемы внутреннего источника питания малошумящего ЭПРА.

Для разрабатываемого устройства необходимо напряжение питания +12 В. Схема данного источника питания показана на рисунке 30.

					БР-02069964-11.03.04-21-19	Лист
Из	Ли	№ докум.	Подпи	Д		39

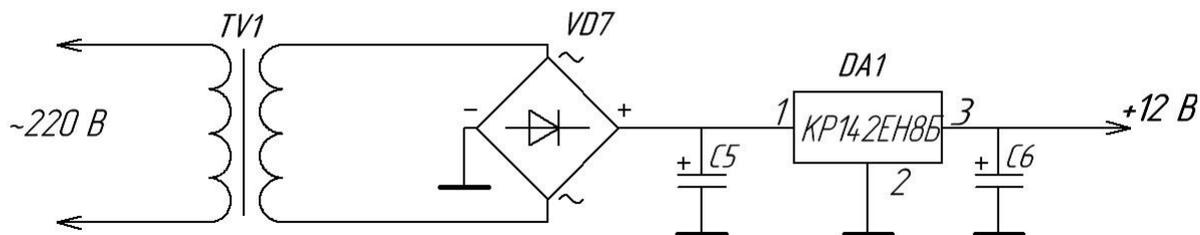


Рисунок 30 — Схема источника питания +12 В

Схема будет состоять из трансформатора. Трансформатор необходим для преобразования сетевого напряжения и осуществления гальванической развязки. Полученное напряжение будет выпрямляться с помощью диодного моста. Далее полученное напряжение будет стабилизироваться с помощью ИМС стабилизатора.

Напряжением +12 В питаются микросхема LM555 и реле РЭС22.

Возьмём трансформатор ТТП-40 (25 В, 1,5 А). У этого трансформатора напряжение на вторичной обмотке равно 25 В. Данный трансформатор способен выдавать ток до 1,5 А.

В виду того, что нужно выпрямить напряжение величиной 25 В, диодный мост должен быть рассчитан на обратное напряжение не ниже 25 В. Возьмём диодный мост GBU801 с максимальным обратным напряжением 100 В и выходным током 8 А. Получилось с запасом.

Для стабилизации напряжения +12 В будем использовать стабилизатор KP142EH8B. Эта ИМС стабилизирует напряжение +12 В, способна питать током до 1,5 А и имеет максимальное входное напряжение +35 В. Производитель рекомендует на вход схемы устанавливать керамический конденсатор номинальной ёмкостью не менее 0,33 мкФ, а на выход — не менее 0,1 мкФ. Возьмём  $C5=2,2$  мкФ и  $C6=0,1$  мкФ [8]. Возьмём конденсаторы ЕТНЕР К10-17б, 0,33 мкФ, 50 В х7R и К10-17Б имп., 0,1 мкФ, 10%, 0805.

На рисунке 31 показана схема подключения контактов реле РЭС22 к лампе.

Проведем моделирование системы управления током лампы в программной среде Multisim 11 (рисунок 31).

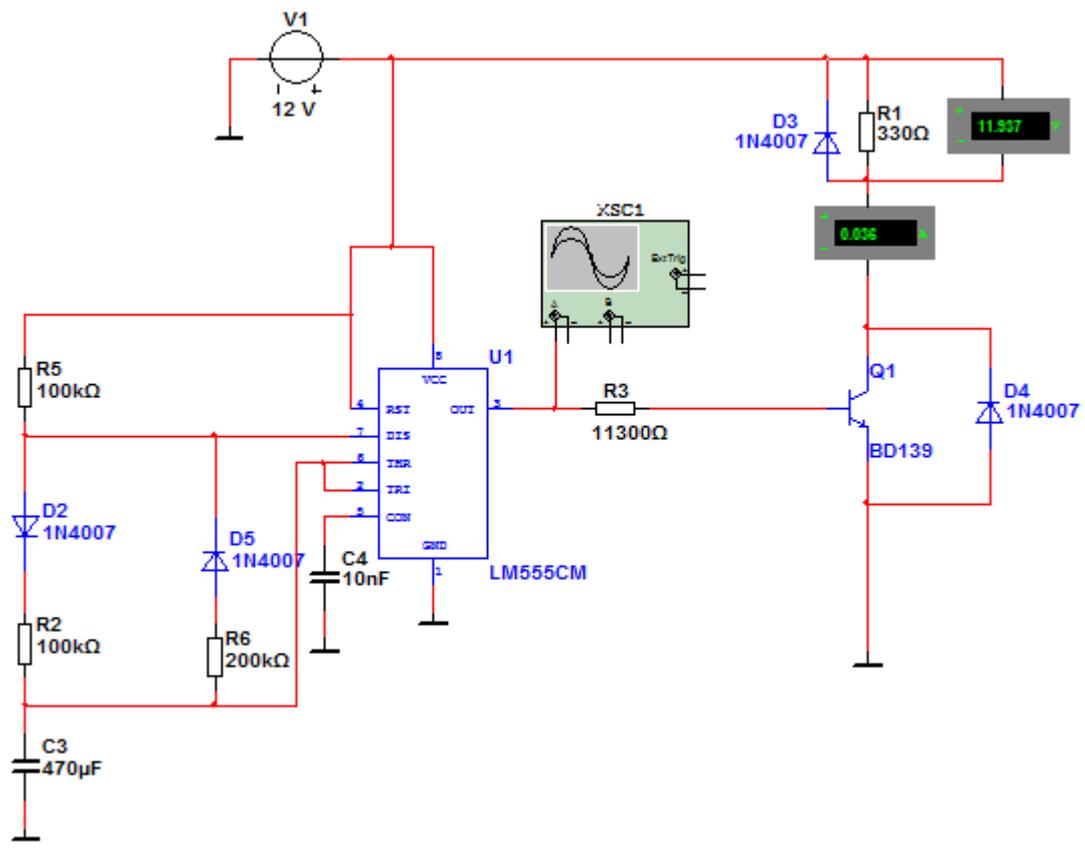


Рисунок 31 — Система управления током лампы, собранная в программной среде Multisim 11

Из моделирования видно, что на реле РЭС22 с эквивалентным сопротивлением  $R1$  будет падать напряжение 12 вольт.

На рисунке 32 показана осциллограмма выходного импульса с микросхемы LM555.

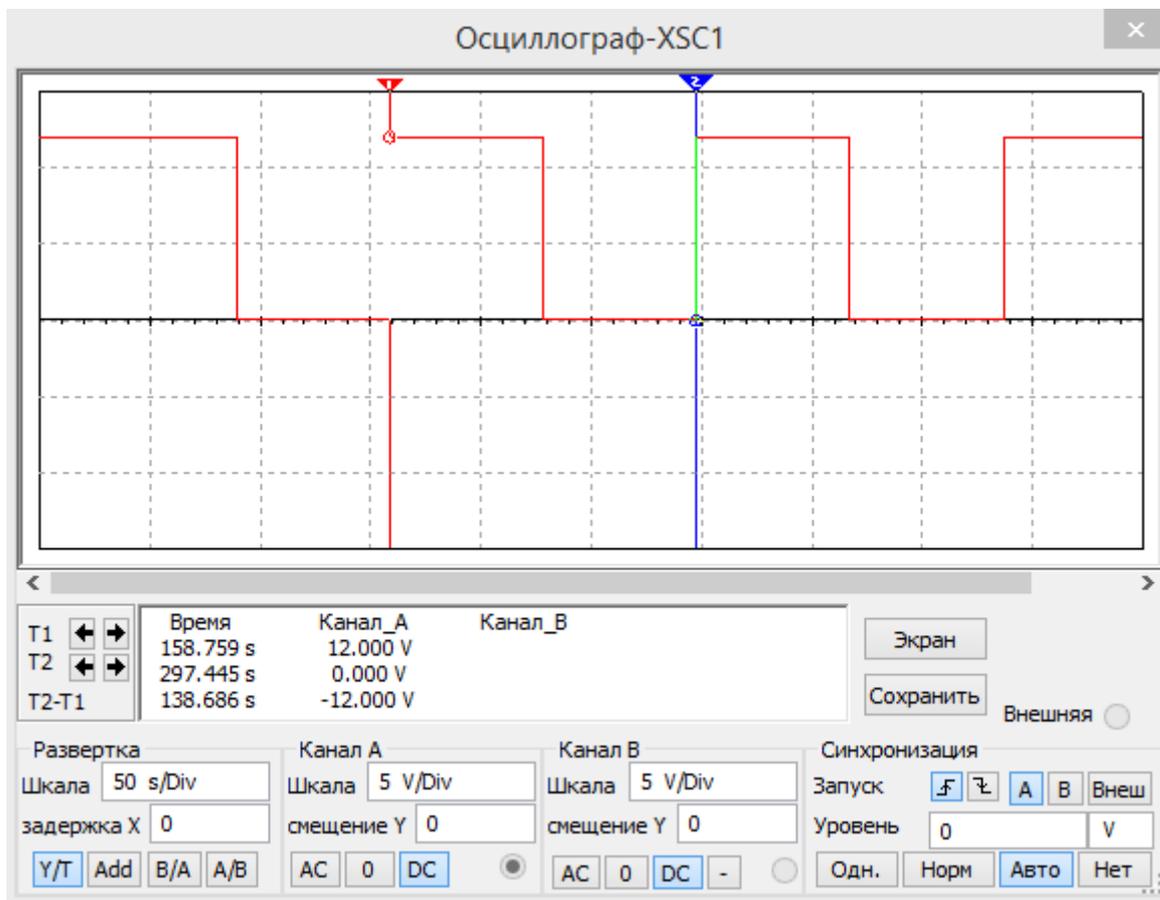


Рисунок 32 — Осциллограмма выходного импульса с микросхемы LM555

Из осциллограммы видно, что при моделировании длительность периода получилась равной 138 с. Следовательно, раз в 69 секунд реле будет менять направление протекания тока через лампу.

Данное схемное решение не позволит скапливаться ртути у одного из катодов. Следовательно, лампа не выйдет из строя при длительном использовании.

### 3 Разработка макетного образца ЭПРА

Для проверки работоспособности схемного решения на практике был изготовлен макетный образец светильника на основе схемы малошумящего ПРА для бактерицидной ультрафиолетовой люминесцентной лампы на 8 Вт (рисунок 33).

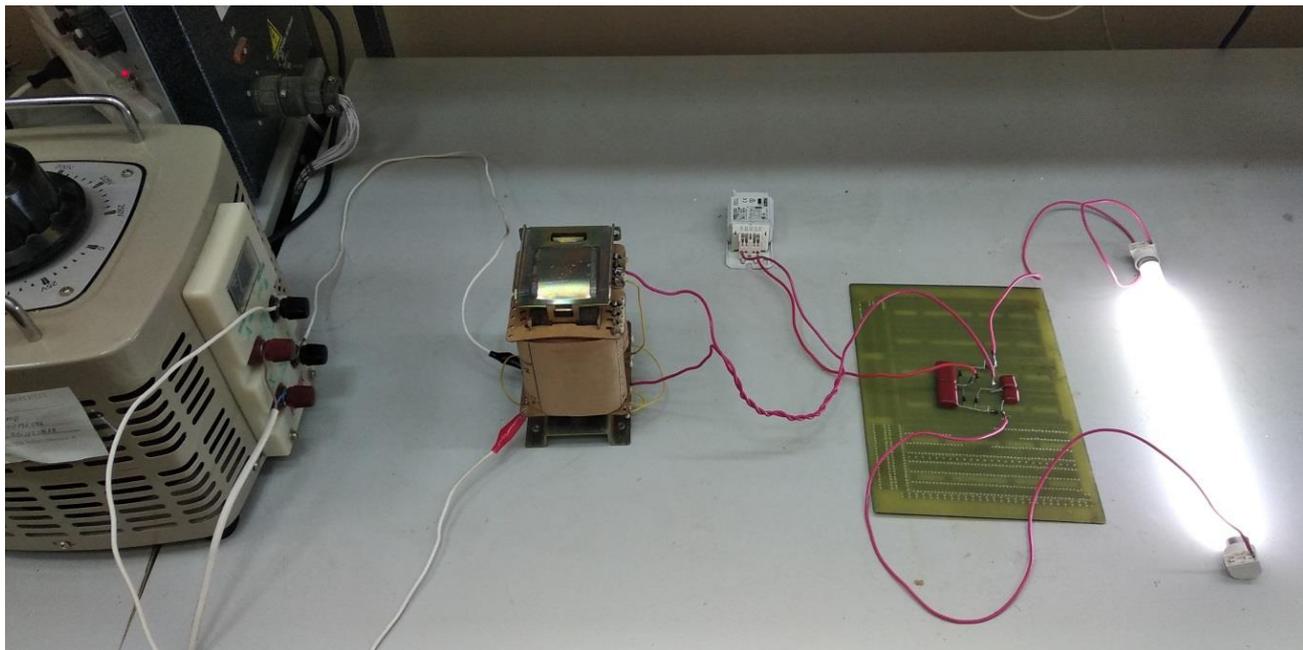


Рисунок 33 — Макетный образец светильника на основе схемы малошумящего ПРА для бактерицидной ультрафиолетовой люминесцентной лампы на 8 Вт

В целях безопасности вместо бактериологической ультрафиолетовой люминесцентной лампы использовалась обычная люминесцентная лампа на 8 Вт.

В макете использовался трансформатор ТС-180-2 для гальванической развязки. Схема собиралась навесным монтажом. В качестве ограничителя тока использовался дроссель для питания люминесцентных ламп 8 Вт.

При подаче питания люминесцентная лампа включается мгновенно. Частота мерцания лампы — 100 Гц, что не является минусом, поскольку такие

светильники будут применяться для ультрафиолетовой обработки воздуха или воды. Поскольку через люминесцентную лампу будет протекать постоянный ток, то ртуть будет скапливаться у одного из катодов, что является минусом данного схемного решения.

С макетного образца были получены следующие параметры:

- ток, протекающий через лампу —  $I_l = 0,150$  А;
- напряжение, падающее на лампе —  $U_l = 54,5$  В;
- входной ток, питающий прибор —  $I_{ex} = 0,17$  А;
- входное напряжение —  $U_{ex} = 220$  В.

Рассчитаем активную, реактивную и полную мощности для изготовленного макета. Активная мощность рассчитывается по формуле:

$$P_l = I_l \cdot R_l = 0,150 \cdot 54,5 = 8,1 \text{ Вт.} \quad (7)$$

Активная мощность  $P_l = 8,1$  Вт, что соответствует мощности используемой лампы. Полная мощность рассчитывается по формуле:

$$S = I_{ex} \cdot R_{ex} = 0,170 \cdot 220 = 37,4 \text{ ВА.} \quad (8)$$

Зная активную и полную мощности можно найти реактивную мощность:

$$Q = I_{ex} \cdot U_{ex} \cdot \sin \varphi = 0,170 \cdot 220 \cdot \sin 72^\circ = 35,5 \text{ В.} \quad (9)$$

где  $\varphi$  — угол сдвига фаз входного тока и входного напряжения (рисунок 18).

Определим коэффициент полезного действия (КПД) для изготовленного макета:

$$\eta = \frac{P_l}{S} = \frac{8,1}{37,4} = 0,21 = 21 \%. \quad (10)$$

КПД изготовленного макета составляет 21%, что обусловлено наличием дросселя.

					БР-02069964-11.03.04-21-19	Лист
Из	Ли	№ докум.	Подпи	Д		45

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания бакалаврской работы мной были изучены принципы работы и характеристики люминесцентных ламп. Рассмотрены разные виды источников питания люминесцентных ламп. Проведено исследование на электромагнитную совместимость ЭПРА и их обзор.

Проведено моделирование малошумящего ЭПРА для питания бактерицидных ультрафиолетовых ламп. Так же разработана электрическая принципиальная схема малошумящего ЭПРА с системой управления током лампы на основе микросхемы LM555. Были определены основные принципы работы устройства, рассчитаны номиналы элементов схемы. Произведена разработка внутреннего источника питания.

Был разработан макетный образец ЭПРА и исследованы его электрические характеристики.

					БР-02069964-11.03.04-21-19	Лист
Из	Ли	№ докум.	Подпи	Д		46

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Давиденко Ю. Н. Настольная книга домашнего электрика: люминесцентные лампы. — СПб.: Наука и Техника, 2005. — 224с.
2. Люминесцентные лампы общего назначения [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
[http://altay-krylov.ru/mechan\\_automat/luminiscentnaja\\_lampa\\_obzego.html](http://altay-krylov.ru/mechan_automat/luminiscentnaja_lampa_obzego.html)
3. Краснопольский А. Е. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп/ А. Е. Краснопольский, В. Б. Соколов, А. М. Троицкий; Под общ. Ред. А. Е. Краснопольского.—М.: Энергоатомиздат, 1988.—208 с.: ил.
4. Устройство и схема включения люминесцентной лампы [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<http://fb.ru/article/233664/ustroystvo-i-shema-vklyucheniya-lyuminestsentnoy-lampyi>.
5. Фадейкин А. Н. Разработка метода и аппаратуры для бактерицидной обработки воздуха в помещениях для выращивания растений / Мордов. гос. ун-т, Каф. Электроники и наноэлектроники – Рук. Н. Н. Беспалов – Саранск, 2017 –97 с.
6. Электрические балласты [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.farm-invest.ru/cat/sterilizacziya-i-dezinfekcziya/elektronnye-ballasty/eral13>.
7. Реле времени на 555 таймере своими руками [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://10i5.ru/raznoe/rele-vremeni-na-555-shema.html>.
8. Стабилизатор 12 в – КР142ЕН8Б [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://katod-anod.ru/articles/36>.

Перв. примен.

Справ. №

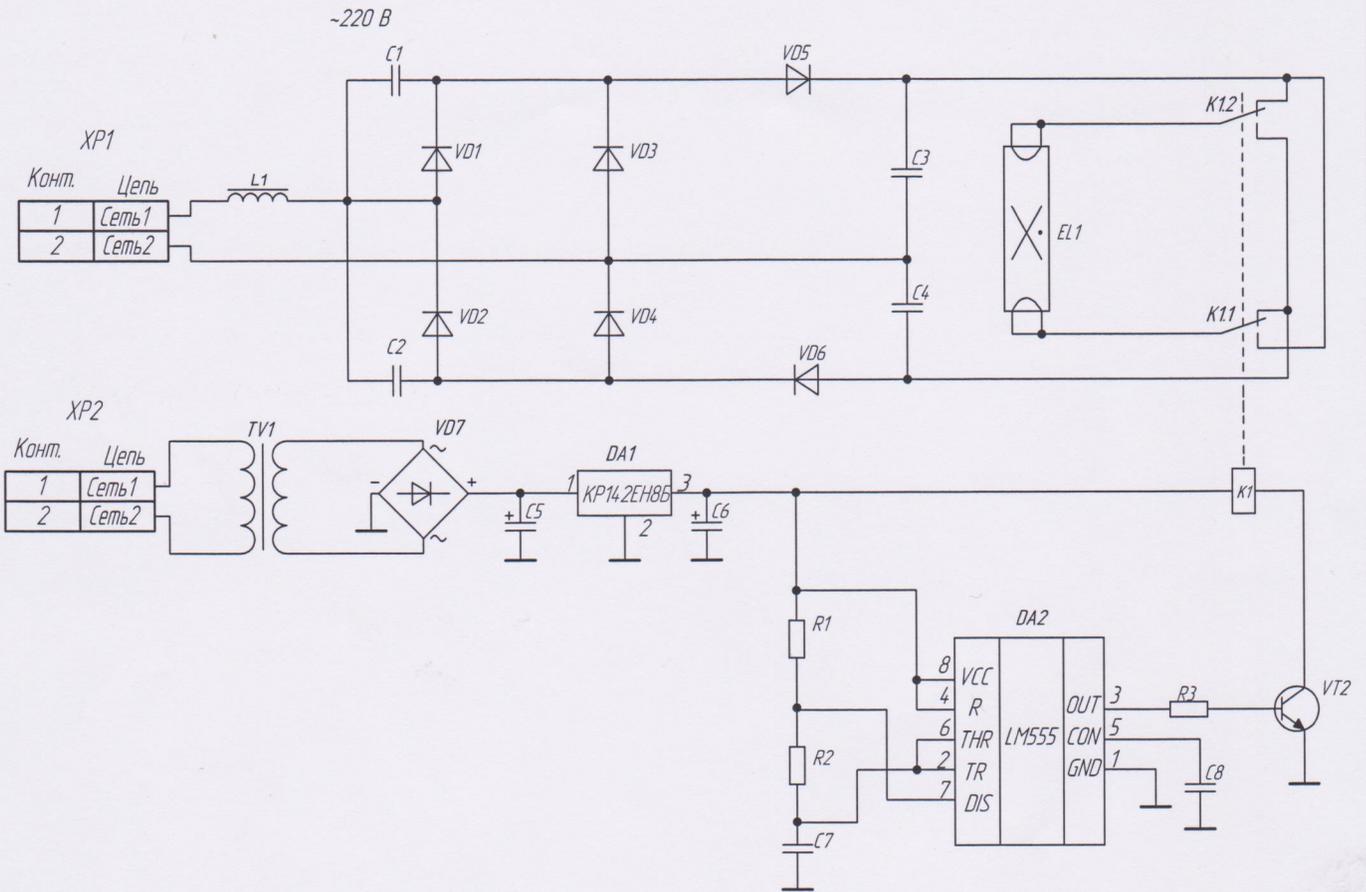
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Лит. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



БР-02069964-11.03.04-21-19 33

Электрическая  
принципиальная схема  
маломощного ЭПРА  
с управлением тока лампы

Лит.	Масса	Масштаб
Лист		Листов 1

Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Яхлов А.В.	<i>[Signature]</i>	19.06.18
Пров.	Беспалов Н.Н.	<i>[Signature]</i>	19.06.19
Т. контр.			
Н. контр.	Шестёркина А.А.	<i>[Signature]</i>	19.06.18
Утв.	Беспалов Н.Н.	<i>[Signature]</i>	19.06.19

МГУ им. Н. П. Огарёва  
ИЭС ЭиНЭ 411 гр.

Инв. № подл.	Изм./Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Пер. примен.	Справ. №	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
								Конденсаторы				
							C1,C2	K10-17A H50 0,5 мкФ	2			
							C2,C3	K50-35-25B 0,1 мкФ	2			
							C5	ETHER K10-17δ 0,33 мкФ 50 В x7R	1			
							C6	K10-17Б имп. 0,1 мкФ 10% 0805	1			
							C7	SHO16M04 70A5F-0811, 470 мкФ 16 В (K50-35) 16 В	1			
							C8	CL 11 10 нФ, 1000 В 10%	1			
								Микросхемы				
							DA1	KP142EH8Б	1			
							DA2	LM555	1			
								Дроссели				
							L1	Vossloh Schwabe L4/6/8.304	1			
								Резисторы				
							R1,R2	CF-100 (C1-4) 1 Вт, 100 кОм, 5%	1			
							R3	CF-25 (C1-4) 0,25 Вт, 11 кОм, 5%	1			
								Диоды				
							VD1-VD6	1N5399	6			
								Диодные мосты				
							VD7	GBU801	1			
								Транзисторы				
							VT1	BC139, PNP 40В 0,5А	1			
								Трансформаторы				
							TV1	ТПП-40 25 В 1,5 А	1			
								Реле				
							K1	РЭС22	1			
								Разъемы				
							XP1,XP2	KLS2-125-3.81-02P-4S	2			
								Лампы				
							EL1	ДБ8	1			
					БР-02069964-11.03.04-21-19							
	Изм./Лист	№ докум.	Подпись	Дата						Лит.	Лист	Листов
	Разраб.	Яхлов А.В.		13.06.19								1
	Проб.	Беспалов Н.Н.		19.06.19						Перечень элементов		
	Н. контр.	Шестеркина А.А.		19.06.19						МГУ им. Н. П. Огарёва ИЭС ЭиНЭ 411 гр.		
	Утв.	Беспалов Н.Н.		19.06.19								

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	Прим.
1			<u>Документация текстовая</u>		
2					
3	A4	БР-02069964-11.03.04-21-19	Пояснительная записка	47	
4					
5	A4	БР-02069964-11.03.04-21-19	Перечень элементов		
6			электрической принципиальной		
7			маломощного ЭПРА		
8			с управлением тока лампы	1	
9					
10	A4	БР-02069964-11.03.04-21-19 ЗЗ	Электрическая принципиальная		
11			схема маломощного ЭПРА		
12			с управлением тока лампы	1	
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					

**БР-02069964-11.03.04-21-19**

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Яхлов А.В.	<i>Я</i>	19.06.19
Проб.		Беспалов Н.Н.	<i>НН</i>	19.06.19
Н. контр.		Шестёркина А.А.	<i>Ш</i>	19.06.19
Утв.		Беспалов Н.Н.	<i>НН</i>	19.06.19

Разработка электронного  
пускорегулирующего аппарата  
для бактерицидных  
ультрафиолетовых ламп

Лист	Масса	Масштаб
Д	1	1

МГУ им. Н. П. Огарёва  
ИСЭ ЭиНЭ 411 гр.



[20]	0,58%	0,58%	не указано	<a href="http://sveto-tehnika.ru">http://sveto-tehnika.ru</a>	08 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	1	1
[21]	0,11%	0,51%	<a href="https://esu.citis.ru/dissertatio...">https://esu.citis.ru/dissertatio...</a>	<a href="https://esu.citis.ru">https://esu.citis.ru</a>	20 Мар 2018	Модуль поиска Интернет	1	1
[22]	0%	0,37%	Антиплагиат 1.pdf	не указано	19 Июн 2017	Кольцо Вузов	0	2
[23]	0%	0,35%	63182	<a href="http://e.lanibook.com">http://e.lanibook.com</a>	09 Мар 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	1
[24]	0%	0,34%	ВКР_ЖуравлевМО_09СС_090...	не указано	09 Июн 2014	Кольцо Вузов	0	1
[25]	0,33%	0,33%	Выпускная работа магистра ...	<a href="http://elib2.altstu.ru">http://elib2.altstu.ru</a>	05 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	1	1
[26]	0,29%	0,29%	Из опыта использования ко...	<a href="http://uchebilka.ru">http://uchebilka.ru</a>	11 Июл 2013	Модуль поиска Интернет	2	2
[27]	0%	0,26%	Курсовая работа: Энергосбе...	<a href="http://bestreferat.ru">http://bestreferat.ru</a>	раньше 2011	Модуль поиска Интернет	0	2
[28]	0,24%	0,24%	Дипломная работа Смирнов...	не указано	21 Июн 2018	Модуль поиска "МГУ им. Н. П. Огарева"	2	2
[29]	0%	0,23%	<a href="https://esu.citis.ru/ikrbs/0EYA...">https://esu.citis.ru/ikrbs/0EYA...</a>	<a href="https://esu.citis.ru">https://esu.citis.ru</a>	21 Мар 2018	Модуль поиска Интернет	0	2
[30]	0,07%	0%	не указано	не указано	раньше 2011	Модуль поиска общеупотребительных выражений	1	2

Руководитель работы  
заведующий кафедрой,  
К. Т. Н., доц.



Беспалов Н. Н.

**Отзыв**  
**на бакалаврскую работу студента 4 курса направления подготовки**  
**«Электроника и наноэлектроника» Яхлова Андрея Васильевича**  
**на тему «Разработка электронного пускорегулирующего аппарата для**  
**ультрафиолетовых люминесцентных ламп»**

В настоящее время активно развиваются бактерицидные ультрафиолетовые установки для обеззараживания воздуха и воды. Применяемые в таких установках ЭПРА для питания ультрафиолетовых люминесцентных ламп могут создавать высокие электромагнитные помехи в питающей сети, что существенно влияет на чувствительные приборы. На данный момент от этой проблемы невозможно избавиться полностью. Разработке электронного пускорегулирующего аппарата для ультрафиолетовых люминесцентных ламп и посвящена бакалаврская работа А. В. Яхлова.

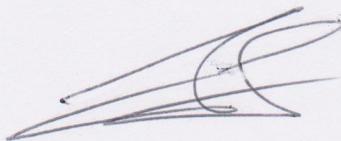
В данной работе основной задачей является разработка устройства, способного питать ультрафиолетовую люминесцентную лампу, мощностью 8 ватт, с малыми электромагнитными помехами.

С поставленной задачей А. В. Яхлов. успешно справился. В результате была разработана схема ЭПРА для питания ультрафиолетовых люминесцентных ламп и изготовлен макетный образец.

Проведенная работа свидетельствует о хороших знаниях дипломника электронной техники и схемотехники.

В целом, считаю, что проект Яхлова Андрея Васильевича заслуживает оценки «отлично», а выпускник Яхлов А. В. – присвоения квалификации бакалавра по направлению «Электроника и наноэлектроника».

Руководитель  
выпускной бакалаврской  
квалификационной работы



Н. Н. Беспалов