

Ю. Н. Давиденко

500 схем для радиолюбителей

СОВРЕМЕННАЯ СХЕМОТЕХНИКА В ОСВЕЩЕНИИ

Эффективное электропитание люминисцентных,
галогенных ламп, светодиодов,
элементов «Умного дома»



На CD размещены:

- документация и каталоги ведущих производителей: PHILIPS, OSRAM, GE Lighting, Люммакс
- необходимый Soft (Ballast Designer, DIALux, VIPer Design Software v2.24, полезные программы для радиолюбителей и др.)
- чертежи печатных плат, прошивки.

500 СХЕМ
для радиолюбителей
СОВРЕМЕННАЯ
СХЕМОТЕХНИКА
В ОСВЕЩЕНИИ

Ю. Н. Давиденко

Радиолюбитель

НИТ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Ю. Н. Давиденко

500 схем для радиолюбителей

**СОВРЕМЕННАЯ СХЕМОТЕХНИКА
В ОСВЕЩЕНИИ**

**Эффективное электропитание
люминисцентных, галогенных ламп,
светодиодов, элементов «Умного дома»**



**Наука и Техника, Санкт-Петербург
2008**

Давиденко Ю. Н.

500 схем для радиолюбителей. Современная схемотехника в освещении. Эффективное электропитание люминисцентных, галогенных ламп, светодиодов, элементов «Умного дома». — СПб.: Наука и Техника, 2008. — 320 с.: ил. + CD

Под редакцией Корякина-Черняка С. Л.,
члена Международной Академии Информационных процессов и технологий

ISBN 978-5-94387-390-4

Серия «Радиолюбитель»

В данной книге впервые в СНГ систематизированы многочисленные **СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ С ЛЮМИНИСЦЕНТНЫМИ, ГАЛОГЕННЫМИ ЛАМПАМИ И СВЕТОДИОДАМИ**. Приводимой информации достаточно для самостоятельного изготовления понравившейся конструкции. Схемы сопровождаются подробными описаниями, рисунками печатных плат, рекомендациями по сборке и настройке. Рассмотрено и освещение «Умного дома».

В книге и на диске приведен **Обзор Интернет-ресурсов** по схемотехнике современного освещения. **На CD** также размещены:

- ♦ необходимый Soft (Ballast Designer, DIALux, VIPer Design Software v2.24, программы для просмотра Pdf DjVu и другие полезные программы для радиолюбителей);
- ♦ чертежи печатных плат, прошивки;
- ♦ документация и каталоги ведущих производителей светотехники: PHILIPS, OSRAM, GE Lighting, Люммакс.

Книга рассчитана как для начинающих, так и на «продвинутых» радиолюбителей, увлекающихся практической радиоэлектроникой.



ISBN 978-5-94387-390-4

Автор и издательство не несут ответственности за возможный ущерб, причиненный в ходе использования материалов данной книги.

Контактные телефоны издательства
(812) 567-70-25, 567-70-26
(044) 516-38-66

Официальный сайт: www.nit.com.ru

© Давиденко Ю. Н.

© Наука и Техника (оригинал-макет), 2008

ООО «Наука и Техника».

Лицензия №000350 от 23 декабря 1999 года.

198097, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 29.

Подписано в печать 28.05.2008. Формат 70x100^{1/16}.

Бумага газетная. Печать офсетная. Объем 20 п. л.

Тираж 3000 экз. Заказ № 93

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО «Техническая книга»
190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29

Оглавление

Глава 1.	Что такое свет и освещение	9
Глава 2.	Люминесцентные лампы	22
Глава 3.	Пускорегулирующие аппараты, или как правильно зажечь и питать люминесцентные лампы	75
Глава 4.	Светодиоды — эффективные твердотельные источники света	208
Глава 5.	Радиолюбительские схемы и конструкции со светодиодами	237
Глава 6.	Галогенные лампы накаливания в современном освещении	274
Глава 7.	Освещение «Умного дома»	299
Приложение 1.	Полезные термины и определения по освещению ...	307
Приложение 2.	Полезные термины и определения по светильникам ..	311
Приложение 3.	Частые светотехнические заблуждения	314
Приложение 4.	Структура информации, представленной на компакт-диске, прилагаемом к книге	316
Приложение 5.	Полезные ссылки из сети Интернет	319
Литература и Интернет-ресурсы		320

Содержание

Глава 1. Что такое свет и освещение	9
Физические основы света	9
Световые величины и единицы	14
Свет и цвет	16
Качество излучения	19
Глава 2. Люминесцентные лампы	22
2.1. Устройство и принцип работы. Достоинства и недостатки	22
Немного истории	22
Принцип построения	24
Достоинства люминесцентных ламп	26
Недостатки люминесцентных ламп	28
Классификация ЛЛ ведущих производителей	30
Характеристики и параметрами люминесцентных ламп	31
2.2. Стандартные люминесцентные лампы	31
Особенности ламп, которые нужно учитывать	31
Маркировка	32
Коды цветности	33
Разновидности зарубежных ЛЛ	33
Отечественные ЛЛ	34
2.3. Люминесцентные лампы с улучшенной цветопередачей	36
Особенности	36
Достоинства	36
Характеристики	36
2.4. Т5 — люминесцентные лампы нового поколения	44
2.5. Современные ультрафиолетовые и специальные люминесцентные лампы	49
Лампы для дезинфекции, загара, установок фотобиологического действия	49
Лампы для освещения аквариумов	51
Лампы для декоративного освещения	53
2.6. Компактные люминесцентные лампы	54
Что такое КЛЛ	54
Классификация КЛЛ	55
Покупать ли КЛЛ?	55
Выбор КЛЛ	56
Дополнительные возможности КЛЛ	58
Соответствия КЛЛ различных производителей	59
Технические характеристики КЛЛ	60

2.7.	Безэлектродные индукционные люминесцентные лампы	66
	Создание безэлектродных индукционных люминесцентных ламп	66
	Принцип действия ИЛЛ	66
	Технические характеристики ИЛЛ типа QL	69
	Компактные ИЛЛ фирмы GE	70
	Компактные ИЛЛ фирмы OSRAM	71
Глава 3.	Пускорегулирующие аппараты, или как правильно	
	зажечь и питать люминесцентные лампы	75
3.1.	Электромагнитные ПРА. Принцип работы и недостатки	75
	Что такое балласт?	75
	Схема светильника с электромагнитным ПРА	77
3.2.	Электронные стартеры	79
	Достоинства электронных стартеров	79
	Разновидности электронных стартеров	80
	Принцип действия электронного стартера на ИМС UBA2000T. ...	81
	Принцип действия электронного стартера	
	на ИМС EFS STARLIGHT KIT	89
3.3.	Электронный ПРА — балласт, спасающий лампу	91
3.3.1.	Знакомство с принципом построения, работой	
	и элементной базой электронных балластов	91
	Преимущества электронных ПРА	91
	Основные направления развития ПРА	92
	Электрические параметры ЭПРА	94
	Отечественные электронные ПРА	94
	Структурная схема электронного балласта	95
	Как зажечь лампу	95
	Микросхемы управления балластами	96
	Программы для проектирования электронных балластов	97
3.3.2.	Простой электронный балласт на IR2153	98
3.3.3.	Миниатюрные электронные балласты на IR53HD420	106
3.3.4.	Электронный балласт с измененной цепью прогрева катодов. ...	110
3.3.5.	Миниатюрный электронный балласт на микросхеме IR51HD420. .	113
3.3.6.	Миниатюрный электронный балласт на микросхеме IR51HD420	
	с одноступенчатым частотным прогревом электродов	
	и обычной схемой питания	116
3.3.7.	Современный электронный балласт на IR2520	118
3.3.8.	ЭПРА на элементах от фирмы PHILIPS	122
	Обзор производимых микросхем для ЛЛ и КЛЛ	123
	Электронный балласт, реализованный на UBA2021	123
	ЭПРА с использованием микросхемы UBA2021 для питания КЛЛ .	132
	ЭПРА для компактной люминесцентной лампы (КЛЛ)	
	мощностью 11 Вт	133
3.3.9.	Электронные балласты на дискретных элементах	136
	Достоинства	136
	Вопросы терминологии	136

Технические параметры БМТ, используемых в электронных балластах	137
Особенности схемотехники	137
Электронный балласт, построенный по принципу полумостового инвертора с самовозбуждением	139
Электронный балласт без цепи автозапуска для самых маломощных КЛЛ	141
Электронные балласты, предназначенные для работы с мощными ЛЛ	142
Электронный балласт фирмы VITO	144
Электронный балласт 20-ваттной КЛЛ фирмы OSRAM	146
Интересная схема электронного балласта на дискретных элементах для КЛЛ	147
Электронный балласт Luxog производства КНР	148
Особенности ремонта КЛЛ и электронных балластов	148
3.3.10. ЭПРА с питанием от низковольтных источников	151
Классификация	151
Электронный балласт для ЛЛ ЛБУ 30 мощностью 30 Вт	151
Балласт на KP1211EY1	157
ЭПРА на KP1211EY1 с питанием от бортовой сети автомобиля (11—15 В)	168
Однотактные преобразователи	177
Преобразователь, использующий «самозащищенный» переключаемый транзистор	179
Электронный балласт в светильнике с двумя ЛЛ по 6 Вт	180
Варианты электронного балласта, реализованные по схеме однотактного автогенераторного преобразователя	184
ЭПРА, позволяющий регулировать яркость лампы	187
3.4. Ballast Designer — автоматизированное проектирование электронных балластов	191
Назначение программы	191
Начало работы	191
Шаг 1 — выбор схемы выпрямителя сетевого напряжения	193
Особенности электронных балластов, как нагрузки электросети	195
Активный корректор коэффициента мощности	195
Шаг 2 — выбор типа и мощности лампы	196
Шаг 3 — выбор микросхемы драйверов-контроллеров электронных балластов	199
Шаг 4 — выбор числа ламп и схемы их соединения с ПРА	202
Заключительный, пятый шаг	204
Глава 4. Светодиоды — эффективные твердотельные источники света . . .	208
4.1. Создание и развитие светодиодов	208
Краткое определение	208
Изобретение светодиода	209
Первые промышленные светодиоды	210
Создание светодиодов с синим свечением	210

	Появление сверхъярких голубых и зеленых светодиодов в России	215
4.2.	Устройство и принцип работы светодиодов	217
	Принцип действия светодиода	217
	Какое строение имеет светодиод?	218
	Основные определения	219
4.3.	Строение мощных светодиодов	221
	Принципы получения белого свечения	221
	Принципы построения мощных светодиодов	224
4.4.	Сегодняшний день современных высокоэффективных светодиодов	227
	Что мы имеем сегодня?	227
	Проблемы современных светодиодов	229
	Свет будущего сегодня	230
4.5.	Питание светодиодов	232
	Требования к питанию светодиодов	232
	Особенности питания белых светодиодов	232
Глава 5.	Радиолюбительские схемы и конструкции со светодиодами	237
5.1.	Фонари и фары на светодиодах	237
	Постановка задачи	237
	Питание светодиодов с помощью ZXSC300	238
	Принцип работы микросхемы ZXSC300	238
	Используемые детали	240
	Вариант питания мощных светодиодов типа Luxeon с номинальным рабочим током 350 мА	242
	Светодиодный модуль для фонаря и фары с микроконтроллерным управлением	246
	Практические схемы применения микросхемы ZXSC400	248
	Используемые детали	248
	Схема для питания светодиодов мощностью 5 Вт типа LUXEON V	250
	Понижающие преобразователи Step Down (buck) на ZXSC400	251
	Устройства управления световым потоком и контроля разряда аккумуляторов	253
	Светодиодный электромеханический фонарь	255
5.2.	Ночники и дежурное освещение на светодиодах	256
	Способы реализации ночного освещения и требования	256
	Светодиодный ночник в выключателе	257
	Ночник на светодиодах	258
	Ночник с регулируемой яркостью	260
	Автоматизированный ночник	262
5.3.	Светодиодные лампы	265
	Основные параметры светодиодных ламп	265
	Изготовление простой светодиодной лампы	267
	Светодиодные лампы на светодиодах Lighting Class	269
	Второй вариант блока питания на ИМС NCP1014	272

Глава 6. Галогенные лампы накаливания в современном освещении	274
6.1. Принцип работы ГЛН	274
Что такое галогенная лампа накаливания	274
Принцип действия	275
6.2. Техническая информация	276
Преимущества галогенных ламп	276
Основные параметры	276
Типовые схемы включения	277
Габаритные размеры галогенных ламп	278
Срок службы	278
Эксплуатационные особенности	279
6.3. Обзор современных ГЛН с питанием 220 В	280
Линейные (софитные) ГЛН	280
Линейные лампы повышенной эффективности	280
Одноцокольные галогенные лампы с резьбовыми цоколями	281
Капсульные галогенные лампы	282
Зеркальные галогенные лампы	283
6.4. Низковольтные галогенные лампы	284
Для чего нужен переход к низкому напряжению питания	284
Низковольтные капсульные лампы	284
Низковольтные лампы с интерференционными отражателями	285
Низковольтные зеркальные лампы с алюминиевыми отражателями	288
6.5. Трансформаторы и электроника для ГЛН	289
Особенности включения низковольтных галогенных ламп	289
Преимущества электронных трансформаторов	290
Расчет электронного трансформатора под различные мощности	293
Блок питания на микросхеме TDA4605	293
6.6. Продление срока службы и регулировка яркости свечения	296
Глава 7. Освещение «Умного дома»	299
Основные понятия и определения	299
Блок-схема СУО	301
Автоматизированная СУО luxCONTROL	302
Приложение 1. Полезные термины и определения по освещению	307
Приложение 2. Полезные термины и определения по светильникам	311
Приложение 3. Частые светотехнические заблуждения	314
Приложение 4. Структура информации, представленной на компакт-диске, прилагаемом к книге	316
Приложение 5. Полезные ссылки из сети Интернет	319
Литература и Интернет-ресурсы	320

ЧТО ТАКОЕ СВЕТ И ОСВЕЩЕНИЕ

Физические основы света

Ни для кого не секрет, что мы живем в мире, переполненном электромагнитными излучениями.



Определение.

Электромагнитными излучениями называются распространяющиеся в пространстве колебания напряженностей электрического и магнитного полей.



Определение.

Количество колебаний в секунду носит название частоты излучения (одному колебанию в секунду соответствует частота 1 герц), а расстояние на оси распространения излучения между точками с одинаковой напряженностью поля называется длиной волны излучения (измеряется в метрах).

На практике мы имеем дело с частотами от единиц до сотен миллионов герц. Электромагнитное излучение непрерывно по всему спектру, часть которого напрямую воспринимается различными органами человеческого организма. Для удобства описания оно было разбито на условные диапазоны длин волн, имеющие практическое значение.

Собственно свет, как излучение, напрямую воспринимаемое глазом, лежит в промежутке длин волн от 380 до 780 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Разумеется, чувствительность глаз каждого конкретного человека индивидуальна, но в светотехнике пользуются параметрами среднестатистического зрительного аппарата человека.

Вплотную по спектру к свету, или видимому излучению, прилегают еще два типа излучения:

- ♦ ультрафиолетовое (от 10 нм до 380 нм);
- ♦ инфракрасное (от 780 нм до 1 мм).

Диапазон длин волн, совместно занимаемый видимым, инфракрасным и ультрафиолетовым излучениями (от 10 нм до 1 мм), носит название **оптического** (рис. 1.1).

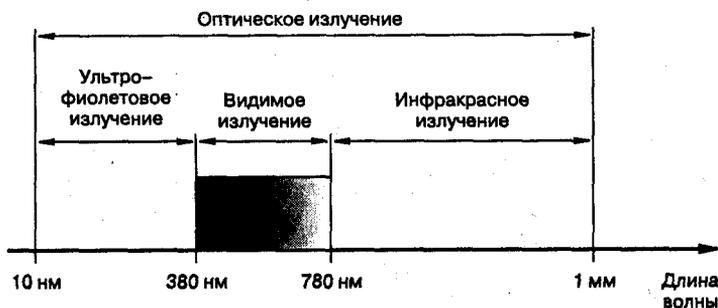


Рис. 1.1. Видимое и оптическое излучения (шкала длин волн не в масштабе)

Нетрудно вычислить, что видимый свет занимает всего 0,04 % оптического диапазона. Кроме того, сам оптический диапазон незначителен в сравнении с остальным электромагнитным спектром.



Примечание.

Человек посредством зрения, то есть через этот узенький спектральный мостик видимого излучения, получает более 90 % информации об окружающем мире.

Световое излучение каждой длины волны воспринимается как цветное. С детства всем знакома поговорка «Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан». Первые буквы слов в ней являются первыми буквами цветов, расположенных согласно видимому спектру по мере убывания длины волны (рис. 1.2).

Исследования показали, что чувствительность глаза к разным длинам волн неодинакова. Она наиболее высока в середине видимого диапазона (приходящейся на зеленый свет, длина волны 555 нм) и минимальна к его краям, то есть в области синих и красных излучений (рис. 1.3).

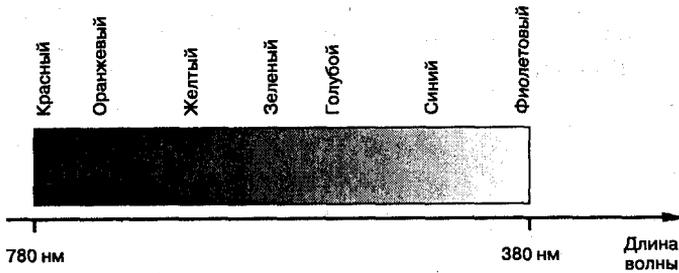


Рис. 1.2. Расположение основных цветов в видимом спектре

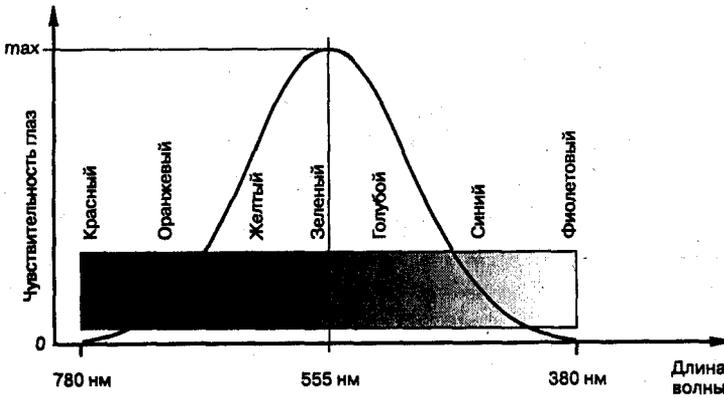


Рис. 1.3. Спектральная чувствительность глаз человека



Примечание.

Очевидно, что излучение одной и той же мощности воспринимается глазом как более интенсивное, если в его спектре больше зеленого света.

Это натолкнуло исследователей на мысль ввести специальную систему оценки количества света, напрямую связанную со среднестатистической чувствительностью глаза.



Определение.

Белым светом мы называем смесь цветных излучений, результат воздействия на глаз набора различных длин волн.

Именно этим объясняется тот не всегда очевидный факт, что в природе не существует идеально белого (не имеющего оттенка) излучения. Любой реальный белый свет имеет оттенок, определяющийся соотношением входящих в него красных, синих и зеленых излучений.

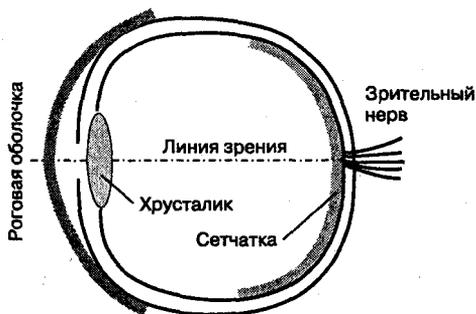


Рис. 1.4. Упрощенное устройство глаза

Зрительный аппарат человека представляет собой весьма оригинальную конструкцию (рис. 1.4), по образу и подобию которой строятся современные оптические системы. Приемником света является сетчатка — слегка искривленная поверхность, покрытая светочувствительными элементами, условно называемыми «палочками» и «колбочками»:

- ♦ палочки обладают чувствительностью только к интенсивности света и равномерно расположены по всей поверхности сетчатки;
- ♦ колбочками чувствительны как к интенсивности, так и к цвету, и сосредоточены ближе к ее центральной части.

Палочки отвечают в основном за ночное зрение, когда света настолько мало, что цветоразличительный аппарат колбочек не работает. Сетчатка является как бы матрицей из чувствительных точек, каждая из которых формирует для нас изображение окружающего мира.

Для того, чтобы на сетчатке формировалось четкое изображение, используется природная линза — хрусталик (рис. 1.4). За счет своей гибкости он может менять фокусное расстояние, и мы одинаково четко видим как удаленные, так и близкие объекты.

Весьма любопытен факт, что любая линза дает перевернутое изображение действительности. Хрусталик в человеческом глазу — не исключение. Возникает вопрос — почему же мы видим все в правильном положении, а не вниз головой? Природа и здесь нашла оригинальное решение. «Переворачивание» выполняется в зрительной затылочной доли мозга.

Чувствительность палочек и колбочек к свету с разными длинами волн неодинакова. В ночное время наиболее ярким (но бесцветным, как и остальные) воспринимается излучение с длиной волны около 500 нм, также относящееся к зеленой группе.

Органы зрения, по устройству аналогичные человеческому глазу, имеют и некоторые высшие животные. Основные отличия заключаются в плотности светочувствительных элементов (обычно у животных она ниже, и изображение получается менее четкое) и в диапазоне воспринимаемых длин волн.



Пример.

Кошки способны видеть в темноте, так как их глаз воспринимает часть инфракрасного излучения, однако они не могут различать цвета из-за того, что их сетчатка состоит только из палочек.

Свет, как и любое излучение, испускается неким источником и взаимодействует с одним из приемников (например, химическими веществами в палочках и колбочках сетчатки глаза). Все существующие в мире источники света делятся на две категории:

- ♦ **тепловые** (планковские), за счет сильного нагрева тело начинает излучать полный спектр излучения, включающий и видимую часть (вспомните раскаленный гвоздь, дающий белый свет);
- ♦ **люминесцентные**, высвобождение внутренней энергии электронов вещества сопровождается излучением света.

При попадании светового излучения на любое тело часть его отражается, то есть освещаемое тело становится как бы вторичным излучателем света. Другая часть претерпевает преобразование в тепловую, химическую или электрическую энергию (это противоположность процесса излучения как перехода какого-либо вида энергии в световую). Это явление носит название **поглощения света**.

И, наконец, в случае невысокого поглощения света веществом наблюдается сквозное прохождение через него света. Свойства вещества отражать, поглощать и пропускать свет, соответственно, носят названия **коэффициентов отражения, поглощения и пропускания**. Каждый из них равен относительной доле отраженного, задержанного и прошедшего сквозь вещество излучения (рис. 1.5).

Каждый из коэффициентов может меняться в пределах от 0 практически до 1, причем их сумма для любого вещества всегда равна единице в силу закона сохранения энергии.

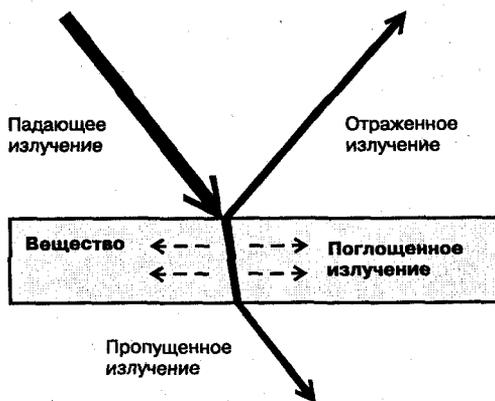


Рис. 1.5. Падающее, отраженное и пропущенное излучения

Световые величины и единицы

Рассмотрим световые величины и единицы. Все световые единицы измерения (**световой поток, сила света, освещенность**) представляют собой соответствующие энергетические величины, применимые для любого электромагнитного излучения (**поток излучения, сила излучения, облученность**), взвешенные по видимому спектру с учетом кривой чувствительности глаза. Это пугающе звучащее определение становится понятнее после небольшого пояснения.

Традиционно **мощность излучения** оценивают в ваттах. Однако если 1 Вт излучения с длиной волны 555 нм дает нам такой же зрительный эффект, как, скажем, 10 Вт излучения с длиной волны 700 нм, то что нам скажет общая мощность излучателя в 20 Вт? Ярким оно будет или нет? Ответить на этот вопрос, пользуясь лишь мощностью излучения, невозможно.

Например, если этот излучатель красный (длина волны 700 нм) или синий (длина волны 450 нм), то он будет намного менее ярким, чем зеленый (длина волны 500 нм). А если вся мощность излучения сосредоточена в инфракрасной области спектра, то свечения такого излучателя мы вообще не увидим.

Поэтому целесообразно оценивать не мощности, а производимый эффект разноспектральных излучений. Проще всего это сделать, умножив мощность излучения данной длины волны на относительную чувствительность глаза к такому излучению.



Определение.

*Подобный процесс приведения мощности излучения к эффекту его действия носит название **взвешивания мощности по чувствительности человеческого глаза**, а оцененный таким образом эффект светового действия излучения — **световым потоком**.*



Определение.

***Световой поток** — величина, характеризующая количество излучаемого (поглощаемого или отраженного) света, он представляет собой мощность излучения, оцененную с позиции его воздействия на зрительный аппарат человека.*

Единица светового потока — 1 люмен (сокращенно 1 лм), что соответствует потоку зеленого излучения с длиной волны 555 нм мощностью

1/683 Вт. Эффективность источника излучения, показывающая, сколько света вырабатывается на 1 Вт потребляемой энергии, измеряется в люменах на ватт (лм/Вт) и носит название **световой отдачи**.



Определение.

Светоотдача — количество излучаемых люменов на единицу потребляемой мощности (лм/Вт), она показывает, сколько энергии, поступающей на лампу, превращается в свет, а сколько — в тепло.

Чем выше этот параметр, тем лучше. Максимальная теоретически возможная световая отдача равна 683 лм/Вт и наблюдаться она может только у источника с длиной волны 555 нм, преобразующего энергию в свет без потерь. Излучатель, содержащий в своем спектре свет с другими длинами волн, всегда будет иметь худшую эффективность. Лучшие из современных ламп имеют световую отдачу, приближающуюся к 200 лм/Вт.

Говоря о реальных излучателях, часто важно бывает знать **плотность излучаемой энергии** по их площади. Отвечающая за это световая величина носит название **светимости** и равна световому потоку, излучаемому с 1 м² поверхности. Измеряется светимость в лм/м².

Кроме общего количества света, излучаемого источником в пространство, необходимо представлять **распределение излучения по направлениям**. Например, даже самая обыкновенная лампа накаливания покажется темной, если смотреть на нее со стороны цоколя, и ослепительно яркой во всех остальных направлениях.

Интенсивность излучения традиционно оценивается потоком излучения в исчезающе малом телесном угле, отнесенным к этому углу. Для светового излучения она описывается силой света, единицей измерения которой является 1 кандела (1 кд). Упрощенно можно считать, что **сила света** показывает, какую долю светового потока отдает источник в рассматриваемом направлении.

Если поместить интересующий нас излучатель в центр окружности, разбитой на 360 секторов, а потом обойти вокруг него и измерить в каждом секторе силу света, то получится очень распространенный в светотехнике график, называемый **кривой силы света (КСС)**. Некоторая сложность в чтении этого графика заключается в том, что он составляется не в прямоугольной, а в полярной системе координат. **Первой координатой** является собственно значение силы света, откладываемое по прямой оси. **Вторая координата** представляет собой угол поворота этой оси относи-

тельно нулевого направления. Таким образом, по графику КСС можно без труда определить силу света источника в любом направлении.

Не менее важным параметром является яркость источника или освещенной им поверхности. Подобно силе света, яркость характеризует количество света, излучаемого или отражаемого в данном направлении, однако не в абсолютном выражении, а в отношении к площади излучающей (переизлучающей) поверхности.

Таким образом, источник площадью 1 м^2 и силой света 10 кд будет иметь такую же яркость, как источник площадью $0,5 \text{ м}^2$ и силой света 5 кд , несмотря на то, что световые потоки и силы света этих источников будут различны. Тем не менее, их поверхности будут восприниматься человеческим глазом как разные по размеру, но одинаково яркие; в этом и заключается физиологический смысл понятия яркости. Яркость измеряется в **канделах на квадратный метр (кд/м²)**.

И, наконец, последней, но едва ли не самой важной в светотехнике ключевой величиной является **освещенность**, показывающая, сколько света падает на ту или иную поверхность. Освещенность равна отношению светового потока, упавшего на поверхность, к площади этой поверхности. Единицей измерения освещенности является **1 люкс (лк): $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$** .



Примечание.

Освещенность дает не лампа, а та часть ее светового потока, которая попала на интересующую нас поверхность. А то, сколько света дойдет до поверхности, зависит от расстояния до этой поверхности, ориентации лампы в пространстве, наличия отражающих или поглощающих свет объектов.

Свет и цвет

Теперь рассмотрим понятия «свет» и «цвет». Выше говорилось, что даже все существующие в природе «белые» излучения имеют множество цветных оттенков. Например, только под описание «теплого» оттенка попадает целый спектр цветов от красноватого до зеленовато-желтого. В случае окрашенного света, широко применяющегося в декоративных световых эффектах, не меньшие трудности возникают с определением понятий «синего», «фиолетового», «зеленого» и других цветов.

«Идеальный» или **монохроматический цвет**, содержащий лишь одну длину волны, практически невозможно воспроизвести при помощи стандартных электрических ламп, поэтому любое реальное цветное излуче-

ние также представляет собой набор излучений из определенного диапазона длин волн.

Таким образом, оттенок белого света либо насыщенность цветного света определяются соотношением монохромных излучений. Здесь уместно дать ответ на часто встречающийся вопрос: «А сколько существует цветов в природе?».

Количество цветов, как и количество возможных соотношений монохромных излучений, бесконечно. Однако с практической точки зрения имеет смысл говорить о максимальном количестве различимых глазом цветов. Действительно, изменив всего на 0,1 Вт мощность цветной лампы, формально мы получим уже другой цвет излучения, однако на глаз это будет незаметно.



Примечание.

Максимальное количество различимых глазом цветов составляет около 12 миллионов.

Рассмотрим, что представляют собой черный и серый цвета. Строго говоря, таких цветов не существует. **Черным цветом** мы привыкли называть полное отсутствие цвета как такового. Практически не излучающие и не отражающие свет объекты выглядят черными (яркий пример — черная бархатная бумага). А в качестве **серого** мы обычно воспринимаем белый свет недостаточной яркости. Не случайно одним из наименований серого цвета служит «грязно-белый».

Задача **цветовоспроизведения**, в том числе при искусственном освещении, заключается в многократном повторении одного и того же цвета. Рассматривать отдельно каждую длину волны практически невозможно, да и огромная таблица мощностей излучений вряд ли позволит с легкостью составить представление о цвете света. Важно уметь оценивать не сами мощности монохромных излучений, а их пропорции при помощи относительно простой и удобной системы измерения.

Такая система измерений была создана в 1931 году. Все оттенки цветов было предложено оценивать двумя условными координатами — x и y , каждая из которых может меняться от 0 до 1.



Определение.

*Все существующие в природе цвета (с учетом цветовой чувствительности человеческого глаза) вписались в причудливую геометрическую фигуру, получившую название **локуса**.*

Для искусственного освещения пользуются, в основном, источниками белого света. Координаты белых цветов расположены в центральной части локуса. Классическим белым излучателем является не существующий в природе идеальный тепловой излучатель — **абсолютно черное тело**. Цветность его излучения напрямую связана с температурой его нагрева.



Определение.

*Линия, вдоль которой смещаются координаты цветности абсолютно черного тела, носит название **линии белых цветов**.*

В первом приближении абсолютно черное тело можно сравнить с лампой накаливания, цвет излучения которой при нагреве спирали меняется аналогичным образом.

Используя абсолютно черное тело в качестве эталона, удобно создать систему оценки оттенков белого света, содержащую всего лишь один параметр — **температуру абсолютно черного тела**, при которой его излучение имеет такой же оттенок, как и свет рассматриваемой лампы. Этот параметр получил наименование **цветовой температуры**.



Определение.

***Цветовая температура CCT (Correlated Color Temperature)** — величина, характеризующая спектральный состав излучения источника света; определяется температурой абсолютно черного тела (т. е. тела, полностью поглощающего падающие на него лучи), при которой его излучение имеет такой же спектральный состав и распределение энергии по спектру, как и излучение данного источника.*

В системе единиц СИ цветовая температура, как и абсолютная температура, выражается в **кельвинах (К)**. Таким образом, **цветовая температура исследуемой лампы** — это температура абсолютно черного тела, дающего такой же оттенок излучения, что и эта лампа.

Измеряется цветовая температура по шкале Кельвина, один градус в которой равен градусу Цельсия, а начало отсчета находится в точке «абсолютного нуля», соответствующей $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Чаще всего цветовая температура никак не связана с реальной температурой лампы. Исключение составляют тепловые излучатели — лампы накаливания, цветовая температура которых приблизительно равна реальной температуре нагрева спирали.

**Правило.**

Чем выше температура абсолютно черного тела, тем меньше доля красных и больше доля синих излучений в его спектре.

Эту зависимость можно пронаблюдать, накаливая металлический гвоздь на газовой горелке. По мере усиления нагрева гвоздь приобретает сначала красный, затем желтый и, в результате, голубоватый оттенок. Психологически синий оттенок воспринимается как более холодный, а красный — как более теплый. Этим и объясняется странная, на первый взгляд, зависимость: чем выше цветовая температура лампы, тем ее свет кажется холоднее.

При оценки цветовой температуры ЛЛ чаще всего используют следующие диапазоны:

- ♦ лампы с ССТ 2880—3200 К имеют желтоватый оттенок («теплый» цвет, «warm»);
- ♦ лампы с ССТ 3500 К — «нейтральнобелый» цвет;
- ♦ лампы с ССТ 4100 К — «холодный» («cool») белый цвет;
- ♦ лампы с ССТ 5500—7000 К имеют голубоватый оттенок («дневной свет», «daylight»).

Качество излучения

Научившись определять цветовые оттенки, самое время критически взглянуть на **качество освещения**. Сам по себе оттенок еще не позволяет оценить, удачно или неудачно световое решение. Неудачными считаются лишь источники света, цвет которых сильно отличается от белого (например, натриевые лампы). Это связано с тем, что цветной свет вызывает химический дисбаланс в сетчатке глаза и способствует зрительному утомлению.

Но даже белые лампы с одинаковой цветовой температурой могут создавать совершенно различное зрительное впечатление. Дело в том, что цветовая температура не имеет однозначной связи со спектром лампы. Но именно спектр лампы определяет тот цвет окружающих предметов, который мы получим при освещении. Например, в свете натриевой лампы низкого давления, содержащем всего две длины волны желтого цвета, все объекты будут выглядеть желтыми, черными и серыми.

**Определение.**

*Способность источника света правильно воспроизводить цвета (то есть создавать цветковое впечатление, соответствующее эталонному) носит название **цветопередачи**.*

Возникает вопрос: «А что считать эталонным цветовым впечатлением?». Здесь необходимо задаться сразу двумя эталонами:

- ♦ эталонным источником белого света;
- ♦ эталонными образцами цвета.

В качестве **эталонного света** логично выбрать свет, не зависящий от деятельности человека, то есть встречающийся в природе. В первую очередь, таким источником света является Солнце. Однако цвет солнечного света зависит от многих факторов, например, времени года, суток и географической широты. Например, свет рассветного и закатного солнца выглядит окрашенным в оранжевый цвет; тот же эффект наблюдается при прохождении солнечных лучей через загазованную атмосферу. Поэтому в качестве эталона оказалось удобно принять тот же идеальный источник света, что и для определения цветовой температуры — **абсолютно черное тело**.

Как уже упоминалось, черное тело является тепловым источником света, а значит, наилучшую цветопередачу в сравнении с ним будут иметь тепловые лампы. Этим объясняется то, что цветопередача ламп накаливания считается практически идеальной. Но как быть с другими видами естественного света, например, с прохладным светом облачного неба? В сравнении с прямым солнечным светом свет облачного неба имеет весьма невысокую цветопередачу.

Специально для оценки «холодных» источников цвета был узаконен второй **эталон белого света**, представляющий собой идеализированное облачное небо с цветовой температурой 6500 К — так называемый **эталонный источник типа D65**. Таким образом, лампы с цветовой температурой до 4000 К сравниваются по цветопередаче с черным телом, а более «холодные» источники света — с эталонным источником типа D65.

В качестве эталонных цветных образцов выбрано 8 разбросанных по спектру красок с фиксированными характеристиками. Цветопередача оценивается на основании усреднения разницы в цвете этих образцов, наблюдающемся при освещении эталонным и исследуемым источником света. Численное выражение цветопередачи носит название **индекса цветопередачи R_a** .

Индекс цветопередачи R_a — CRI (Color Rendering Index) — характеризует, насколько близки к «истинным» будут цвета объектов при рассмотрении их в свете лампы. Под «истинными» понимаются цвета при рассмотрении с использованием тестового источника. R_a принимает значения от 1 до 100 (1 — наихудшая цветопередача, 100 — наилучшая). Индекс более 80 является хорошим показателем, более 90 — отличным.

Диапазон R_a от 40 до 100 разбит на группы, которые используют производители в технических каталогах для характеристики цветопередачи своих ламп (табл. 1.1).

Группы цветопередачи

Таблица 1.1

Группа цветопередачи	Индекс цветопередачи R_a
1A	90—100
1B	80—89
2A	70—79
2B	60—69
3	40—59

Идеальную (равную 100) цветопередачу могут иметь только источники света, спектр которых подобен спектру эталона. Это условие выполняется только для тепловых ламп, практически аналогичных черному телу. Спектр любой разрядной лампы не совпадет ни с эталоном «теплых» цветов, ни с источником D65. Поэтому R_a самых лучших разрядных ламп никогда не будет равен 100. Максимальное его значение достигает 95—98 единиц.

Разумеется, на основании оценки качества передачи цвета 8 образцов нельзя сделать уверенный вывод о передаче этим же источником других цветов. Некоторые лампы, имеющие $R_a = 82—85$, тем не менее, имеют заметные «провалы» в спектре и плохо воспроизводят «неэталонные» цвета (например, известные трехполосные ЛЛ). Для более подробного исследования цветопередачи применяются профессиональные оценочные системы, содержащие многие десятки цветных образцов.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ЛАМПЫ

2.1. Устройство и принцип работы. Достоинства и недостатки

Немного истории

Возможность слабого свечения стеклянных сосудов, содержащих ртутные пары в вакууме, была замечена еще в XVII в., после изобретения ртутных барометров. Но на протяжении нескольких столетий она была забыта. Лишь во второй половине XIX в. была вновь проведена серия экспериментов по пропусканию тока через газы, и тогда же было замечено, что давление газа заметно влияет на его светоизлучающие свойства.

В конце 1890-х — начале 1900-х годов в США были впервые разработаны газоразрядные трубки, предназначенные для целей освещения. На основе этой идеи в разное время были созданы газосветные («неоновые») трубки, люминесцентные лампы, лампы тлеющего разряда и натриевые лампы низкого давления.

Поэтапное улучшение характеристик разрядных трубок привело к созданию в 1930-х годах традиционных люминесцентных ламп. Сначала был найден оптимальный по светоотдаче газ — пары ртути при низком давлении — и подобрано его наилучшее давление. Получившаяся ртутная лампа низкого давления давала приемлемое количество света (4—6 м/Вт), однако ее свет имел выраженный зеленоватый оттенок и, следовательно, плохую цветопередачу.

Эта особенность связана с тем, что основная мощность излучения разряда сосредоточена в ультрафиолетовом спектре, не воспринимаю-

щемся человеческим глазом. Исправить положение удалось только с изобретением специальных веществ «светосоставов», т. е. люминофоров, способных преобразовывать невидимое ультрафиолетовое излучение в видимый свет.

Дальнейшие усовершенствования цвета люминесцентных ламп коснулись в основном химического состава и спектральных свойств люминофоров. Были созданы «трехполосные» и «пятиполосные» лампы, содержащие по три и пять цветных люминофоров, соответственно. Принцип получения белого света в таких лампах позаимствован из формирования цветов на экранах цветных телевизоров и мониторов. Появление более эффективных люминофоров способствовало и уменьшению размеров ламп.

**Примечание.**

Если первые люминесцентные лампы имели диаметр разрядной трубки 38 мм, то у современных ламп T2 и T5 диаметр составляет лишь 7 и 16 мм, соответственно (рис. 2.1).

В зависимости от свойств люминофора его свечение может принимать практически любые оттенки: от насыщенного цветного до белого с любой цветовой температурой. Чтобы подчеркнуть новизну люминесцентного освещения по сравнению с накаливаемым, в первые годы потребители «увлекались» лампами дневной цветности ($T_{\text{цв}} = 5000 \text{ К}$ и выше).

**Примечание.**

За счет этого этот вид ламп получил свое расхожее ошибочное наименование — «лампы дневного света».

В профессиональной практике этот термин не прижился, так как лампа дневного света представляет собой лишь вариант люминесцентной лампы наравне с лампами других оттенков свечения.

**Внимание.**

Для включения люминесцентных ламп в сеть требуются устройства, ограничивающие их рабочий ток и обеспечивающие надежное зажигание — балласт.

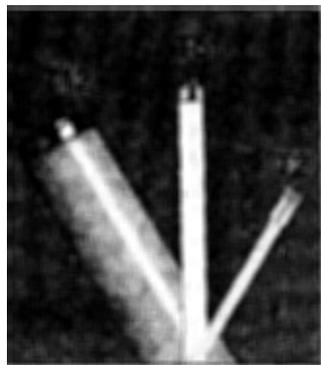


Рис. 2.1. Современные люминесцентные лампы

За время существования люминесцентных ламп они стали основным источником света в освещении общественных зданий и сооружений, где основными требованиями являются большие световые потоки, разнообразие цветов и высокая энергоэффективность.

Новый виток развития люминесцентных источников света низкого давления начался в 90-х годах XX в. с освоением технологии **безэлектродных ламп**. Их устройство аналогично традиционным люминесцентным лампам, но свечение разряда вызывается не протекающим внутри колбы током, а внешним электромагнитным полем. Колба, таким образом, не содержит подверженных разрушению электродов и срок службы лампы намного увеличивается.

Принцип построения

Люминесцентная лампа (ртутная лампа низкого давления; далее по тексту — ЛЛ) является газоразрядным источником света (рис. 2.2). Конструктивно она представляет собой стеклянную трубку с нанесенным на внутреннюю поверхность слоем люминофора. В торцы трубки введены вольфрамовые спиральные электроды. Для повышения эмиссионной способности на электроды наносится оксидная суспензия, изготовляемая из карбонатов или перекисей щелочноземельных металлов.

Внутри лампы находятся разреженные пары ртути и инертный газ (аргон). Давление ртутных паров в ЛЛ зависит от температуры стенок лампы и составляет при нормальной рабочей температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ примерно $0,13\text{—}1,3\text{ Н/м}^2$ ($10^{-2}\text{—}10^{-3}$ мм рт. ст.).

Такое низкое давление обеспечивает интенсивное излучение разряда в ультрафиолетовой области спектра (преимущественно с длиной волны

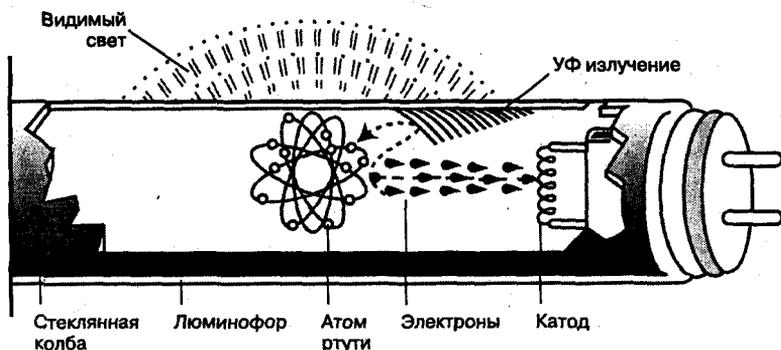


Рис. 2.2. Строение люминесцентной лампы

184,9 и 253,7 нм). Под действием электрического напряжения (поля), приложенного к электродам, в лампе возникает газовый разряд.

При этом проходящий через пары ртути ток вызывает ультрафиолетовое излучение. На внутреннюю поверхность лампы нанесен слой особого вещества (люминофор). Наиболее распространенным люминофором является галофосфат кальция, активированный сурьмой и марганцем.

Изменяя соотношение активаторов, можно получить люминофоры разных марок и изготавливать лампы разной цветности.

Ультрафиолетовое излучение, воздействуя на люминофор, заставляет его светиться, т. е. люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение газового разряда в видимый свет. Стекло, из которого выполнена ЛЛ, препятствует выходу ультрафиолетового излучения из лампы, тем самым предохраняя наши глаза от вредного для них излучения.



Примечание.

Исключением являются бактерицидные и ультрафиолетовые лампы; при их изготовлении применяется увиолевое или кварцевое стекло, пропускающее ультрафиолет.

Широкое распространение на сегодня получают ЛЛ с амальгамами In, Cd и других элементов. Более низкое давление паров ртути над амальгамой дает возможность расширить температурный диапазон оптимальных световых отдач до 60 °С вместо 18—25 °С для чистой ртути.

При повышении температуры окружающей среды сверх допустимой нормы (25 °С для чистой ртути и 60 °С для амальгам) возрастают температура стенок и давление паров ртути, а световой поток снижается.



Примечание.

Еще более заметное уменьшение светового потока наблюдается при понижении температуры, а, значит, и давления паров ртути. При этом резко ухудшается и зажигание ламп, что делает невозможным их использование при температурах ниже -10 °С без утепляющих приспособлений.

В связи с этим представляют интерес безртутные ЛЛ с разрядом низкого давления в инертных газах. В этом случае люминофор возбуждается излучением с длиной волны от 58,4 до 147 нм. Поскольку давление газа в безртутных ЛЛ практически не зависит от окружающей температуры, неизменными остаются и их световые характеристики.

На сегодняшний день проблема работы ЛЛ при низких температурах решена:

- ♦ использованием ЛЛ нового поколения ламп **T5** (с диаметром трубки 16 мм);
- ♦ применением компактных люминесцентных ламп;
- ♦ питанием ЛЛ от высокочастотных электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА).



Совет.

Световая отдача ЛЛ повышается при увеличении размеров (длины) за счет снижения доли анодно-катодных потерь в общем световом потоке. Поэтому рациональнее использовать одну лампу на 36 Вт, чем две по 18 Вт.

Срок службы ЛЛ ограничен дезактивацией и распылением (истощением) катодов. Отрицательно сказываются на сроке службы также колебания напряжения питающей сети и частые включения и выключения ламп. При использовании ЭПРА эти факторы сведены к минимуму.

Достоинства люминесцентных ламп

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

- ♦ **во-первых**, это высокая эффективность, КПД составляет 20—25 % (у ламп накаливания около 7 %), а светоотдача (т. е. количество излучаемых люменов на единицу потребляемой мощности) лежит в пределах 70—105 лм/Вт (у ламп накаливания 7—12 лм/Вт).
- ♦ **во-вторых**, длительный срок службы — до 20000 ч (у ламп накаливания — 1000 ч и сильно зависит от напряжения питания).

Известно, что оптическое излучение (ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное) оказывает на человека (его эндокринную, вегетативную, нервную системы и весь организм в целом) значительное физиологическое и психологическое воздействие, в основном благотворное.

Дневной свет — самый полезный. Он влияет на многие жизненные процессы, обмен веществ в организме, физическое развитие и здоровье. Но активная деятельность человека продолжается и тогда, когда солнце скрывается за горизонтом. На смену дневному свету приходит искусственное освещение.

Долгие годы для искусственного освещения жилья использовались (и используются) только лампы накаливания — тепловой источник света, спектр которого отличается от дневного преобладанием желтого и красного излучения и полным отсутствием ультрафиолета.

Кроме того, лампы накаливания, как уже упоминалось, неэффективны, их коэффициент полезного действия 6—8 %, а срок службы очень мал — не более 1000 ч. Высокий технический уровень освещения с этими лампами невозможен. Вот почему вполне закономерным оказалось появление ЛЛ — разрядного источника света, имеющего в 5—10 раз большую световую отдачу, чем лампы накаливания, и в 8—15 раз больший срок службы.

Преодолев различные технические трудности, ученые и инженеры создали специальные ЛЛ для жилья — компактные, практически полностью копирующие привычный внешний вид и размеры ламп накаливания и сочетающие при этом ее достоинства (компактность, комфортную цветопередачу, простоту обслуживания) с экономичностью стандартных ЛЛ.

На рис. 2.3 представлено сравнение компактной ЛЛ с лампой накаливания. Как видно из термографического рисунка, лампа накаливания (слева) 92—94 % электроэнергии преобразует в тепло и лишь 6—8 % — в свет, тогда как компактная люминесцентная лампа (справа), давая такой же световой поток, расходует на 80 % меньше электроэнергии.

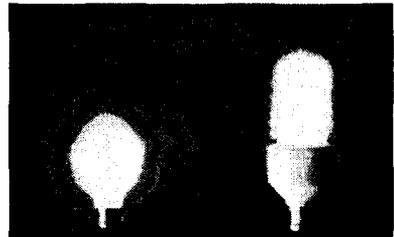


Рис. 2.3. Сравнение теплового поля компактной люминесцентной лампы и лампы накаливания

В силу своих физических особенностей ЛЛ имеют еще одно очень важное преимущество перед лампами накаливания: возможность создавать свет различного спектрального состава — теплый, естественный, белый, дневной, что может существенно обогатить цветовую палитру домашней обстановки.

Не случайно существуют специальные рекомендации по выбору типа ЛЛ (цветности света) для различных областей применения (они будут приведены ниже).

Наличие контролируемого ультрафиолета в специальных осветительно-облучательных ЛЛ позволяет решить проблему профилактики «светового голодания» для городских жителей, проводящих до 80 % времени в закрытых помещениях.



Пример.

Выпускаемые фирмой OSRAM ЛЛ типа BIOLUX, спектр излучения которых приближен к солнечному и насыщен строго дозированным ближним ультрафиолетом, успешно используются одновременно и для освещения, и для облучения жилых, административных, школьных помещений, особенно при недостаточности естественного света.

А специальные загарные ЛЛ типа CLEO (фирмы PHILIPS) предназначены для принятия «солнечных» ванн в помещении и для других косметических целей.

При использовании этих ламп следует помнить, что для обеспечения безопасности необходимо строго соблюдать инструкции изготовителя облучательного оборудования.

Таким образом, ЛЛ, обеспечивающие достаточно много света в квартире, сохраняют тем самым зрение, снижают утомляемость, повышают работоспособность и поднимают настроение; кроме того, спектральный состав их излучения легко варьируется по цвету. Все это делает такие лампы исключительно привлекательными для потребителя.

Недостатки люминисцентных ламп

Имеют ЛЛ и некоторые недостатки. Как правило, все разрядные лампы для нормальной работы требуют включения в сеть совместно с балластом.



Определение.

Балласт, он же пускорегулирующий аппарат (ПРА), — электротехническое устройство, обеспечивающее режимы зажигания (но не всегда само зажигание) и нормальную работу ЛЛ.

Сильна зависимость устойчивой работы и зажигания лампы от температуры окружающей среды (допустимый диапазон 5—55 °С, оптимальной считается 20 °С). Хотя этот диапазон постоянно расширяется с появлением ламп нового поколения и использованием электронных балластов (ЭПРА).

Об ультрафиолете. Природа газового разряда такова, что любые ЛЛ имеют в спектре небольшую долю ближнего ультрафиолета. Известно, что при передозировке даже естественного солнечного света могут воз-

никнуть неприятные явления. В частности, избыточное ультрафиолетовое облучение может привести к заболеваниям кожи, повреждению глаз.

Но было доказано, что работа в течение года (240 рабочих дней по 8 часов в день) при искусственном освещении ЛЛ холодно-белого света с очень высоким уровнем освещенности в 1000 лк (это в 5 раз превышает оптимальный уровень освещенности в жилье) соответствует пребыванию на открытом воздухе в г. Давос (Швейцария) в течение 12 дней летом по одному часу в день в полдень.

Следует заметить, что реальные условия в жилых помещениях бывают в десятки раз более щадящими, чем в приведенном примере. Следовательно, о вреде обычного люминесцентного освещения говорить не приходится.

Важен вопрос **ограничения пульсации светового потока**. Дело в том, что устаревшие линейные трубчатые ЛЛ, подключенные к сети с помощью электромагнитного пускорегулирующего аппарата (чаще всего применяемого в светильниках), создают свет не постоянный во времени, а «микрпульсирующий».

При имеющейся в сети частоте переменного тока 50 Гц пульсация светового потока лампы происходит 100 раз в секунду. И хотя эта частота выше критической для глаза и, следовательно, мелькание яркости освещаемых объектов глазом не улавливается; пульсация освещения при длительном воздействии может отрицательно влиять на человека, вызывая повышенную утомляемость, снижение работоспособности.

В светильниках с **электронным высокочастотным ПРА** указанная особенность работы ЛЛ полностью устранена. Поэтому для традиционного освещения жилья люстрами, настенными, напольными, настольными светильниками целесообразно применять упомянутые выше **компактные люминесцентные лампы**.

О ртути. В лампу для ее работы вводится капля ртути — 30—40 мг (в компактных люминесцентных лампах — 2—3 мг, а в некоторых типах амальгамных компактных люминесцентных ламп ртути в чистом виде практически нет — она находится в связанном состоянии).



Пример.

В термометре, имеющемся в каждой семье, содержится 2 г (т. е. в 100 раз больше, чем в ЛЛ) ртути.

Разумеется, если лампа разобьется, поступить следует так же, как мы поступаем, когда разбиваем термометр, — тщательно собрать и удалить

ртуть, однако содержание в лампе столь ничтожного количества ртути не представляется поводом для серьезного беспокойства.



Выводы.

ЛЛ в доме — это не только более экономичный, чем лампа накаливания, источник света. Грамотное освещение люминесцентными лампами имеет множество преимуществ перед традиционным: экономичность, обилие и красочность света, равномерность распределения светового потока, особенно в случаях высвечивания протяженных объектов линейными лампами, меньшая яркость ламп и значительно меньшее выделение тепла.

Классификация ЛЛ ведущих производителей

На сегодняшний день наиболее качественную продукцию и широкий ассортимент на нашем рынке представляют не отечественные производители, а мировые светотехнические бренды:

- ♦ германская фирма OSRAM [<http://www.osram.com>];
- ♦ голландская PHILIPS [<http://www.lighting.philips.com>];
- ♦ американская GE Lighting (General Electric) [<http://www.gelighting.com>].

Они предлагают широчайший выбор высококачественных ЛЛ на любой вкус и цвет. Свои люминесцентные лампы производители разделяют на две большие категории:

- ♦ категория 1 — люминесцентные лампы ЛЛ (FL — Fluorescent Lamps);
- ♦ категория 2 — компактные люминесцентные лампы КЛЛ (CFL — Compact Fluorescent Lamps).

ЛЛ делятся на три группы:

а) по спектральному составу излучения:

- стандартные;
- с улучшенной цветопередачей;
- специальные.

б) по электрической мощности:

- слабомощные — до 18 Вт;
- средней мощности — 18—58 Вт;
- мощные — свыше 58 Вт;

в) по диаметру трубки:

- T2 — 7 мм;
- T5 — 16 мм;

- T8 — 26 мм;
 - T12 — 38 мм;
- г) по форме и длине трубки:
- прямые (линейные);
 - U-образные;
 - кольцевые;
- д) по светораспределению:
- с ненаправленным светоизлучением;
 - с направленным светоизлучением (рефлекторные, щелевые, панельные и др.).

Характеристики и параметрами люминесцентных ламп

Основными характеристиками и параметрами люминесцентных ламп, которые указывают фирмы-производители в своих технических каталогах и которые необходимы потребителю для правильного выбора той или иной лампы, являются:

- ♦ мощность лампы (Вт);
- ♦ световой поток (лм);
- ♦ светоотдача (лм/Вт);
- ♦ цветовая температура или CCT — Correlated Color Temperature (K);
- ♦ индекс цветопередачи, R_a или CRI — Color Rendering Index;
- ♦ габаритные размеры и исполнение.

2.2. Стандартные люминесцентные лампы

Особенности ламп, которые нужно учитывать

В стандартных лампах используется широкополосный дешевый люминофор — галофосфат кальция и магния, активированный сурьмой и марганцем (ГФК). Недостаток этих ламп — низкий индекс цветопередачи $R_a = 50—70$, что приводит к искаженной цветопередаче освещаемых предметов.

Достоинство — дешевизна (в 2—4 раза дешевле ламп с высокой цветопередачей). Именно этими ЛЛ известны отечественные производители:

- ♦ ОАО «СВЕТ» (Смоленский электроламповый завод),
www.smolensk.ru/user/svet;
- ♦ ОАО «ЛИСМА», г. Саранск, www.lisma-lighting.ru.

**Совет.**

Лампы этого типа рекомендуется использовать там, где не требуется точное определение цветовых оттенков: для освещения подвалов, гаражей, складских помещений, наружного освещения.

Нередки случаи, когда потребитель, узнав о экономичности использования ЛЛ, решил заменить у себя лампы накаливания и приобрел ЛЛ с низким индексом цветопередачи и цветовой температурой 6000 К голубоватого оттенка. У ламп накаливания индекс цветопередачи $R_a = 95$ и цветовая температура 2700 К — теплый цвет. В итоге при свете такой ЛЛ привычные окружающие предметы поменяли свой цветовой оттенок. В результате этого возникает дискомфорт и появляется раздражение от неудачного эксперимента.

Это в полной мере касается и компактных ЛЛ (КЛЛ) китайско-польско-турецкого производства с ненормированным индексом цветопередачи.

Маркировка

Пример маркировки стандартных зарубежных ЛЛ показан на рис. 2.4. Маркировка отечественных ЛЛ обычно состоит из 2—3 букв и цифр. Первая буква Л означает люминесцентная.

Следующие буквы означают цвет излучения:

- ♦ Д — дневной;
- ♦ ХБ — холодно-белый;
- ♦ Б — белый;
- ♦ ТБ — тепло-белый;
- ♦ Е — естественно-белый;
- ♦ К, Ж, З, Г, С — соответственно: красный, желтый, зеленый, голубой, синий;
- ♦ УФ — ультрафиолетовый.

У ламп с улучшенным качеством цветопередачи после букв, обозначающих цвет, стоит буква Ц, а при цветопередаче особо высокого качества — буквы ЦЦ.

В конце ставят буквы, характеризующие конструктивные особенности:

- ♦ Р — рефлекторная;
- ♦ У или U — U-образная;

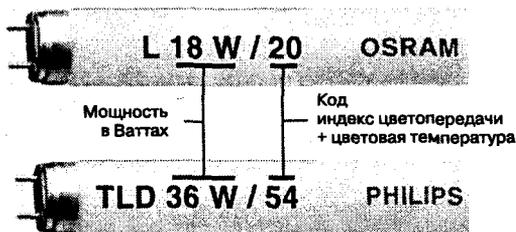


Рис. 2.4. Маркировка стандартных зарубежных люминесцентных ламп

- ♦ К — кольцевая;
- ♦ А — амальгамная;
- ♦ Б — быстрого пуска.

Цифры обозначают мощность в ваттах.



Пример.

ЛБ 40 — люминесцентная лампа белого цвета излучения мощностью 40 Вт.

ЛДЦ 40-2 — люминесцентная лампа дневного цвета излучения, улучшенной цветопередачи мощностью 40 Вт, двойка после мощности показывает, что лампа модернизированная, у нее уменьшен диаметр колбы с 38 мм до 32 мм при сохранении световых характеристик.

Коды цветности

Расшифровка и соответствие кодов цветности различных фирм приведены в табл. 2.1.

Расшифровка и соответствие кодов цветности различных фирм

Таблица 2.1

Характеристика	Стандартные				
	Дневной	Холодный (универс.) белый	4000	Белый (нейтральный)	Тепло-белый
Цветовая температура, К	6500	4500—4000	4000	3500	3000
Индекс цветопередачи, Ra	75	75	62	56	50
Пятизначный код цветности OSRAM	10—765	25—740	20—640	23—535	30—530
Двузначный код цветности OSRAM	10	25	20	23	30
Двузначный код цветности General Electric	54	25	33	35	29
Двузначный код цветности PHILIPS	54	25	33	—	29
Код цветности OSRAM / SYLVANIA	154	125	133	—	129
Отечественный код	ЛД	ЛХБ		ЛБ	ЛТБ
Новый код ОАО «Свет»	765			735	

Разновидности зарубежных ЛЛ

В номенклатуре выпускаемой продукции всех ведущих производителей достаточно широко представлены ЛЛ со стандартной ($R_a = 50—70$)

цветопередачей. Так, фирма OSRAM в ассортименте выпускаемой продукции имеет:

- ♦ стандартные линейные ЛЛ с диаметром трубки 26 мм (тип Т8) мощностью 18, 36 и 58 Вт (длиной от 590 до 1500 мм в зависимости от мощности), с диаметром трубки 16 мм (тип Т5) мощностью 4, 6, 8 и 13 Вт (длиной от 136 до 517 мм в зависимости от мощности);
- ♦ кольцевые ЛЛ с диаметром трубки 29—30 мм мощностью 22, 32 и 40 Вт;
- ♦ U-образные ЛЛ с диаметром трубки 26 мм мощностью 18, 36 и 58 Вт.

Аналогичные лампы имеются в ассортименте производимой продукции фирмы PHILIPS:

- ♦ стандартные ЛЛ с диаметром трубки 38 мм (тип Т12) производятся мощностью 20, 40 и 65 Вт (длиной от 590 до 1500 мм в зависимости от мощности), диаметром трубки 16 мм (тип Т5) мощностью 4, 6, 8, 13 Вт (длиной от 150 до 530 мм в зависимости от мощности), диаметром трубки 26 мм (тип Т8) мощностью 14, 15, 16, 18, 23, 36, 38, 58 и 70 Вт (длиной от 370 до 1770 мм в зависимости от мощности);
- ♦ кольцевые ЛЛ мощностью 22, 32, 40 и 60 Вт.

Отечественные ЛЛ

Технические характеристики отечественных люминесцентных ламп со стандартной цветностью представлены в табл. 2.2.

Технические характеристики отечественных люминесцентных ламп

Таблица 2.2

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм	Длина L, не более, мм	Диаметр D, мм	Тип цоколя
ЛБ 20	20	60	1060	604	38	G13d
ЛД 20	20	57	880	604	38	G13d
ЛБ 40	40	103	2800	1214	38	G13d
ЛД 40	40	103	2300	1214	38	G13d
ЛБ 65	65	110	4600	1514	38	G13d
ЛД 65	65	110	3750	1514	38	G13d
ЛБ 80	80	99	5200	1514	38	G13d
ЛД 80	80	99	4250	1514	38	G13d
ЛБ 20-2	20	65	1060	604	32	G13d
ЛД 20-2	20	65	880	604	32	G13d
ЛБ 40-2	40	110	2800	1214	32	G13d
ЛД 40-2	40	110	2300	1214	32	G13d
ЛБ 65-2	65	116	4600	1514	32	G13d

Таблица 2.2 (продолжение)

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм	Длина L, не более, мм	Диаметр D, мм	Тип цоколя
ЛД 65-2	65	116	3750	1514	32	G13d
ЛБ 80-2	80	105	5200	1514	32	G13d
ЛД 80-2	80	105	4250	1514	32	G13d
ЛБ 18	18	57	1060	604	26	G13d
ЛД 18	18	57	880	604	26	G13d
ЛБ 30	30	96	2020	909	26	G13d
ЛД 30	30	96	1650	909	26	G13d
ЛБ 36	36	103	2800	1214	26	G13d
ЛД 36	36	103	2300	1214	26	G13d
ЛБУ 22	22	66	1100	285	26	G13d
ЛБ 4	4	29	120	146	16	S15s/12
ЛБ 6	6	42	250	222	16	S15s/12
ЛБ 8	8	56	385	298	16	S15s/12
ЛБУ 8Б3	8	61	300	146	16	G5d
ЛБ 13	13	95	780	527	16	S15s/12
ЛБ 15	15	55	835	444,5	28	G13d
ЛД 15	15	55	835	444,5	28	G13d

С декабря 2003 года ОАО «СВЕТ» (Смоленский электроламповый завод), www.smolensk.ru/user/svet вошло в состав Германского концерна OSRAM.

Новое обозначение и технические характеристики ЛЛ ОАО СВЕТ показаны в табл. 2.3.

Технические характеристики люминесцентных ламп ОАО СВЕТ

Таблица 2.3

Новое обозначение	Старое обозначение	Номин. мощность, Вт	Напряжение лампы, В	Номин. ток лампы, А	Номин. световой поток, лм	Диаметр макс, мм
SL 18/26-735(765)	ЛБ (ЛД)-18	18	57	0,37	1060 (880)	26,5
SL 20/32-735(765)	ЛБ (ЛД)-20-2	20	65	0,35	1060 (880)	32,4
SL 30/26-735(765)	ЛБ (ЛД)--30	30	106	0,365	2020 (2300)	26,5
SL 36/26-735(765)	ЛБ (ЛД)-36	36	103	0,43	2800 (2300)	26,5
SL 40/32-735(765)	ЛБ (ЛД)-40-2	40	110	0,41	2800 (2300)	32,4
SL 40/38-735(765)	ЛБ (ЛД)-40	40	103	0,43	2800 (2300)	38,2
SL 65/38-735(765)	ЛБ (ЛД)-65	65	110	0,67	4600 (3750)	38,2
SL 80/38-735(765)	ЛБ (ЛД)-80	80	99	0,87	5200 (4250)	38,2
SLU 30/26-735	ЛБУ-30	30	104	0,365	1980	26,5

2.3. Люминесцентные лампы с улучшенной цветопередачей

Особенности

Это лампы с редкоземельными люминофорами (РЗЛ). Они имеют узкополосные спектры с максимумами излучения в областях максимальной чувствительности человеческого глаза (450, 540 и 610 нм). Применение высокоэффективных трех- и пятиполосных редкоземельных люминофоров привело к значительному повышению индекса цветопередачи до $R_a = 82—97$. За высокую цветопередачу пятиполосным ЛЛ пришлось пожертвовать светоотдачей.



Примечание.

При этом световой поток у ламп улучшенной цветопередачи с трехполосным люминофором $R_a = 80—89$ примерно на 30 % выше, чем у стандартных люминесцентных ламп, а у пятиполосных — примерно на 9 % ниже.

Достоинства

Лампы с трехполосным люминофором (LUMILUX T8) обладают следующими преимуществами:

- ♦ большой срок службы — около 20 тысяч часов (с ЭПРА с предварительным подогревом катодов);
- ♦ малый спад светового потока за время работы (не более 15 % после 18 тысяч часов);
- ♦ высокая экологичность, сниженные расходы на утилизацию (содержат менее 5 мг ртути);
- ♦ хорошая цветопередача ($R_a > 80$);
- ♦ широкий диапазон цветностей.

Характеристики

В табл. 2.4 представлена сравнительная характеристика светоотдачи ламп разных типов.

Сравнительная характеристика светоотдачи ЛЛ
с цветовой температурой 4000 К

Таблица 2.4

Характеристика	Стандартные люминесцентные лампы ($R_a = 70$)			Люминесцентные лампы с улучшенной цветопередачей ($R_a = 80-89$), трехполосным люминофором, цветность — 840			Люминесцентные лампы с улучшенной цветопередачей ($R_a = 90-97$), пятиполосным люминофором, цветность — 940		
	18	36	58	18	36	58	18	36	58
Мощность лампы, Вт	18	36	58	18	36	58	18	36	58
Световой поток, лм	1100	2600	4100	1350	3350	5200	1000	2350	3750
Светоотдача, лм/Вт	61	72	71	75	93	90	55,6	65,3	64,6
Изменение эффективности по сравнению со стандартными ЛЛ, %	—	—	—	+23	+30	+27	-9	-9	-9



Вывод.

По соотношению «цена/качество» лампы с трехполосным люминофором (восьмисотой серии, код цветности — 8xx) являются лидерами. Имея самую высокую светоотдачу — 90 лм/Вт, хорошую цветопередачу и умеренную цену, они являются компромиссом между дешевыми стандартными и дорогими (но с высоким индексом цветопередачи) пятиполосными ЛЛ девятой серии (код цветности — 9xx).

Наиболее полная передача цветовой палитры окружающей обстановки создает более комфортные условия для восприятия. Лампы улучшенной цветопередачи применяются не только там, где при помощи общего освещения нужно наиболее четко передать цвета и оттенки окружающих предметов, но и для освещения жилых помещений и рабочих мест.

Как уже отмечалось, отечественные лампы с улучшенной цветопередачей имеют в своей маркировке буквы Ц или ЦЦ. Например, ЛЕЦ 40-2, ЛТБЦЦ 20.

Расшифровка международного трехзначного кода цветности (индекс цветопередачи плюс цветовая температура), применяющийся в маркировке ламп с улучшенной цветопередачей, приведена в табл. 2.5.

Таблица 2.6 (продолжение)

Характеристика цветности лампы	BIOLUX®	DAYLIGHT (дневной)	COOL WHITE (холодно-белый)	WHITE (белый)	WARM WHITE (тепло-белый)	INTERNA	NATURA DE LUXE	FLUORA® OSRAM			
Цветовая температура, код цветности	6500 K, 965	6000 K, 860	DE LUXE, 5400 K, 950	4000 K, 840	DE LUXE, 4000 K, 940	3500 K, 835	3000 K, 830	DE LUXE, 3000 K, 930	2700 K, 827	3500 K, 76	77
Цветовое сравнение (сравнение красок)	+		+		+						
Складские помещения, хранилища				+							
Школы и лекционные залы											
Аудитории, классы, детские сады	+			+			+			+	
Библиотеки, читальные залы	+			+			+			+	
Общественные учреждения											
Рестораны, гостиницы						+				+	
Театры, концертные залы, вестибюли										+	
Выставочные залы											
Выставочные залы и торговые выставки				+			+				
Спортивные залы и универсальные залы				+							
Художественные галереи, музеи		+	+	+	+			+	+		
Торговые помещения											
Продукты питания		+		+			+			+	
Хлебобулочные изделия										+	
Холодильные прилавки и шкафы		+		+			+				+
Сыр, фрукты, овощи										+	
Рыба										+	
Мясо, колбасные изделия											+
Текстильные, кожаные товары	+	+	+		+	+	+	+	+	+	
Мебель, ковры							+	+	+		
Спортивные товары, игрушки, канцтовары				+	+	+	+	+			
Фото, часы, ювелирные изделия	+	+	+				+	+			
Косметика, парикмахерские								+	+		
Цветы	+		+					+	+	+	
Универмаги, супермаркеты	+			+	+	+	+	+	+	+	
Больницы и приемные кабинеты											
Диагностические и лечебные кабинеты	+	+	+								
Больничные палаты, приемные	+							+	+		

Таблица 2.6 (продолжение)

Характеристика цветности лампы	BIOLUX®	DAYLIGHT (дневной)	COOL WHITE (холодно-белый)	WHITE (белый)	WARM WHITE (тепло-белый)	INTERNA	NATURA DE LUXE	FLUORA® OSRAM
Цветовая температура, код цветности	6500 К, 965	6000 К, 860 DE LUXE, 5400 К, 950	4000 К, 840 DE LUXE, 4000 К, 940	3500 К, 835	3000 К, 830 DE LUXE, 3000 К, 930	2700 К, 827	3500 К, 76	77
Жилище								
Жилые комнаты								
Кухни, ванные, мастерские, подвалы			+	+				
Внешнее освещение								
Улицы, дороги, пешеходные зоны			+		+			
Растения, аквариумы								
Выращивание растений, теплицы								+
Аквариумы								+

Фирма OSRAM изготавливает также ЛЛ со специальными спектральными характеристиками:

- ♦ код цветности 965 — серия BIOLUX;
- ♦ код цветности 76 — серия NATURA DE LUXE;
- ♦ код цветности 77 — серия FLUORA).

Характеристики ЛЛ со специальными спектральными характеристиками приведены в табл. 2.7.

ЛЛ со специальными спектральными характеристиками

Таблица 2.7

Тип лампы	Мощность лампы, Вт	Световой поток, лм, для ламп с цветностью		
		965, BIOLUX	76, NATURA DE LUXE	77, FLUORA
Линейная люминесцентная лампа, диаметр трубки — 26 мм				
L 15W /—	15	650	500	400
L 18W /—	18	1100	750	550
L 30W /—	30	1600	1300	1000
L 36W /—	36	2300	1800	1400
L 36W /—-1	36	—	1600	—
L 58W /—	58	3700	2850	2250

Габаритные размеры линейных люминесцентных ламп OSRAM приведены в табл. 2.8. Для подключения ламп к электрической цепи приме-

няются стандартные цоколи: цоколь G5 по DIN 49572, цоколь G13 по DIN 49653, цоколь W4,3 по DIN IEC 60061-1.

Габаритные размеры линейных люминесцентных ламп OSRAM

Таблица 2.8

Мощность лампы, Вт (тип лампы)	Длина L ₁ , мм	Длина L ₂ , мм	Длина L ₃ , мм	Диаметр D, мм	Рис.	Тип цоколя
6 (FM)	219,3 _{-2,0}	—	—	6,6 ^{+0,3}	2,5, а	W4,3×8,5
8 (FM)	320,9 _{-2,0}	—	—	6,6 ^{+0,3}	2,5, а	W4,3×8,5
11 (FM)	422,5 _{-2,0}	—	—	6,6 ^{+0,3}	2,5, а	W4,3×8,5
13 (FM)	524,1 _{-2,0}	—	—	6,6 ^{+0,3}	2,5, а	W4,3×8,5
4	135,7	141,7 ^{+1,2}	150,0	15,5 ^{+0,5}	2,5, б	G5
6	211,9	217,9 ^{+1,2}	226,2	15,5 ^{+0,5}	2,5, б	G5
8	288,1	294,1 ^{+1,2}	302,4	15,5 ^{+0,5}	2,5, б	G5
13	516,9	522,8 ^{+1,2}	531,1	15,5 ^{+0,5}	2,5, б	G5
14 (FH)	549,0	554,9 ^{+1,2}	563,2	16,0	2,5, б	G5
21 (FH)	849,0	854,9 ^{+1,2}	863,2	16,0	2,5, б	G5
24 (FQ)	549,0	554,9 ^{+1,2}	563,2	16,0	2,5, б	G5
28 (FH)	1149,0	1154,9 ^{+1,2}	1163,2	16,0	2,5, б	G5
35 (FH)	1449,0	1454,9 ^{+1,2}	1463,2	16,0	2,5, б	G5
39 (FQ)	849,0	854,9 ^{+1,2}	863,2	16,0	2,5, б	G5
54 (FQ)	1149,0	1154,9 ^{+1,2}	1163,2	16,0	2,5, б	G5
80 (FQ)	1449,0	1454,9 ^{+1,2}	1463,2	16,0	2,5, б	G5
15	437,4	443,3 ^{+1,2}	451,6	25,0 ^{+1,5}	2,5, б	G13
16	720,0	725,9 ^{+1,2}	734,2	25,0 ^{+1,5}	2,5, б	G13
18	589,8	595,7 ^{+1,2}	604,0	25,0 ^{+1,5}	2,5, б	G13
30	894,6	900,5 ^{+1,2}	908,8	25,0 ^{+1,5}	2,5, б	G13
36	1199,4	1205,3 ^{+1,2}	1213,6	25,0 ^{+1,5}	2,5, б	G13
36-1	970,0	975,9 ^{+1,2}	984,2	25,0 ^{+1,5}	2,5, б	G13
38	1047,0	1052,8 ^{+1,2}	1061,2	25,0 ^{+1,5}	2,5, б	G13
58	1500,0	1505,9 ^{+1,2}	1514,2	25,0 ^{+1,5}	2,5, б	G13
20	589,8	595,7 ^{+1,2}	604,0	35,0 ^{+0,5} _{-0,8}	2,5, б	G13
40	1199,4	1205,3 ^{+1,2}	1213,6	35,0 ^{+0,5} _{-0,8}	2,5, б	G13
40 К	589,8	595,7 ^{+1,2}	604,0	35,0 ^{+0,5} _{-0,8}	2,5, б	G13
65	1500,0	1505,9 ^{+1,2}	1514,2	35,0 ^{+0,5} _{-0,8}	2,5, б	G13
80	1500,0	1505,9 ^{+1,2}	1514,2	35,0 ^{+0,5} _{-0,8}	2,5, б	G13
100	1763,8	1769,7 ^{+1,2}	1778,0	35,0 ^{+0,5} _{-0,8}	2,5, б	G13

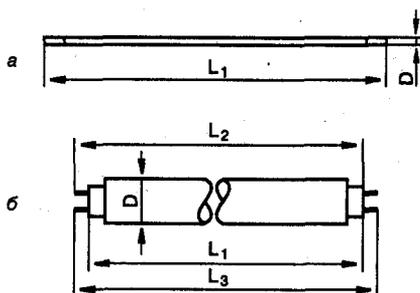


Рис. 2.5. Габаритные размеры ламп (к табл. 2.8)

Габаритные размеры линейных люминесцентных ламп OSRAM серии X для бесстартерных схем с диаметром трубки 38 мм приведены в табл. 2.9. Цоколь Fa6 по DIN 49657.

Габаритные размеры линейных ЛЛ серии X

Таблица 2.9

Мощность лампы, Вт	Длина L_1 , мм	Длина L_2 , мм	Длина L_3 , мм	Диаметр D , мм	Тип цоколя
20	574,0	590,8 ^{+1,2}	611,0	37,0 ^{+2,0}	Fa6
40	1183,5	1200,3 ^{+1,2}	1220,5	37,0 ^{+2,0}	Fa6
65	1484,0	1500,9 ^{+1,2}	1521,1	37,0 ^{+2,0}	Fa6

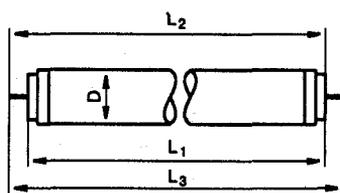


Рис. 2.6. Габаритные размеры ламп (к табл. 2.9)

Габаритные размеры кольцевых люминесцентных ламп OSRAM приведены в табл. 2.10. Цоколь — 2GX13 и G10q по DIN 49663.

Габаритные размеры кольцевых ЛЛ OSRAM

Таблица 2.10

Мощность лампы, Вт (тип)	Диаметр d_1 , мм	Диаметр d_2 , мм	Диаметр d_3 , мм	Диаметр d , мм	Рис.	Тип цоколя
22 (FC)	—	192 ⁺⁵	225 ⁺⁵	16	2.7, а	2GX13
40 (FC)	—	266 ⁺⁶	299 ⁺⁶	16	2.7, а	2GX13
55 (FC)	—	266 ⁺⁶	299 ⁺⁶	16	2.7, а	2GX13
22	157,2	155,6	215,9	28 ⁺²	2.7, б	G10q
32	245,3	246,1	307,2	30 ⁺¹	2.7, б	G10q
40	346,9	347,7	408,8	30 ⁺¹	2.7, б	G10q
60	346,9	347,7	408,8	30 ⁺¹	2.7, б	G10q

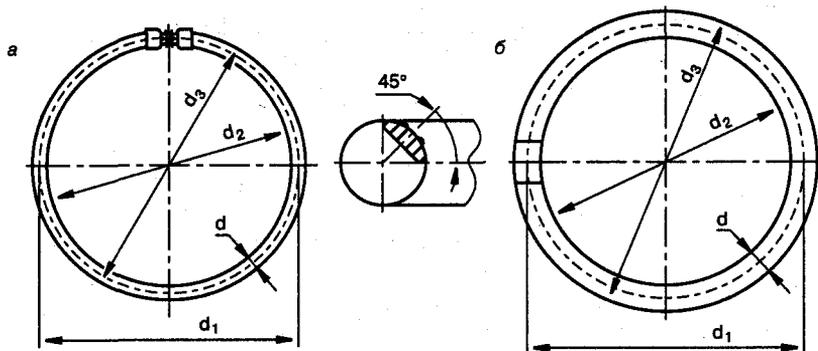


Рис. 2.7. Габаритные размеры ламп (к табл. 2.10)

Габаритные размеры U-образных люминесцентных ламп OSRAM приведены в табл. 2.11. Цоколь 2G13 по DIN 49653 T 2.

Габаритные размеры U-образных ЛЛ OSRAM

Таблица 2.11

Мощность лампы, Вт (тип лампы)	Длина L, мм	Размер a, мм	Диаметр d, мм	Тип цоколя
18	304 ₋₁₀	92 ⁺²	26 ₋₁	2G13
36	601 ₋₁₀	92 ⁺²	26 ₋₁	2G13
36/... UK	566 ₋₁₀	92 ⁺²	26 ₋₁	2G13
58	759 ₋₁₀	92 ⁺²	26 ₋₁	2G13
58/... UK	566 ₋₁₀	92 ⁺²	26 ₋₁	2G13

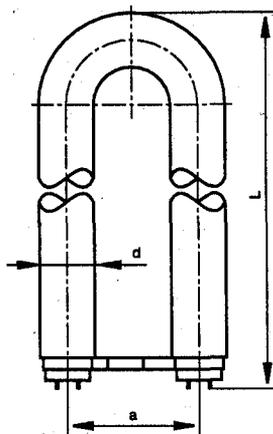


Рис. 2.8. Габаритные размеры лампы (к табл. 2.11)

Соответствие некоторых серий люминесцентных ламп фирм OSRAM, GE Lighting и PHILIPS с улучшенной цветопередачей приведено в табл. 2.12.

Соответствие некоторых серий люминесцентных ламп фирм OSRAM, GE Lighting и PHILIPS с улучшенной цветопередачей

Таблица 2.12

OSRAM	GE Lighting	PHILIPS	Описание
LUMILUX®	Polylux	TL-D Super /80	Люминесцентная лампа с трехполосным люминофором, Ra = 80—89
LUMILUX® PLUS ECO	Polylux XL™ Polylux XLR™	TL-D HF Super / 80 New Generation	Новая серия экологических люминесцентных ламп с трехполосным люминофором. Срок службы — 20 тыс. ч (с ЭПРА), стабильность светового потока на протяжении всего срока службы, уменьшенное содержание ртути — менее 5 мг. Оптимальные лампы для утилизации и вторичной переработки
LUMILUX® DE LUXE	Polylux De Luxe	TL-D /90 de Luxe	Люминесцентная лампа с пятиполосным люминофором, Ra = 90—97
LUMILUX® FH® Fluorescent High Efficiency	Starcoat™ T5	TL5 HE (High Efficiency Lamps)	Люминесцентная лампа с трехполосным люминофором, 16 мм, T5, Ra = 80—89. Лампы с повышенной световой отдачей — 104 лм/Вт
LUMILUX® FQ® Fluorescent QUINTRON®	Starcoat™ T5	TL5 HO (High Output Lamps)	С повышенным световым потоком. При длине всего 1149 мм и диаметре 16 мм лампа 54 Вт создает световой поток, аналогичный световому потоку лампы T8 58 Вт длиной 1500 мм с трубкой диаметром 26 мм

2.4. T5 — люминесцентные лампы нового поколения

Одним из перспективных и бурно развивающихся направлений современной светотехники является производство и применение нового поколения люминесцентных ламп (ЛЛ) с диаметром трубки 16 мм (так называемых ламп T5) с электронными пускорегулирующими аппаратами.

За последние годы лампы T5 с ЭПРА завоевывали новые позиции, быстро вытесняя лампы типа T8 в колбе диаметром 26 мм, не говоря уже о лампах типа T12 в колбе с диаметром 38 мм, которые давно сняты с производства ведущими электроламповыми фирмами мира.

Масштабы экспансии новой техники столь велики, что лампы T5 в Германии и Великобритании составляют сегодня не менее 30 %, в США — 40 %, а в Швеции — 70 % от объема всех выпускаемых ЛЛ. При этом новая техника во всех этих странах разрабатывается только для ламп T5.

Важно отметить, что параллельно созданы и массово выпускаются два типа таких ламп: с максимальной световой отдачей мощностью 14, 21, 28 и 35 Вт (табл. 2.13) и с максимальным световым потоком мощностью 24, 39, 54 и 48 Вт (табл. 2.14).

Характеристики ЛЛ типа T5 серии HE (High Efficiency фирмы PHILIPS) или FH* (Fluorescent High Efficiency фирмы OSRAM)

Таблица 2.13

Мощность лампы, Вт	Длина L, мм	Световой поток, лм	Светоотдача, лм/Вт	Яркость, кд/см ²
14	548	1350	96	1,7
21	848	2100	100	1,7
28	1148	2900	104	1,7
35	1448	3650	104	1,7

Характеристики ЛЛ типа T5 серии HO (High Output Lamps фирмы PHILIPS) или FQ* (Fluorescent QUINTRON* фирмы OSRAM)

Таблица 2.14

Мощность лампы, Вт	Длина L, мм	Световой поток, лм	Светоотдача, лм/Вт	Яркость, кд/см ²
24	548	2000	89	2,5
39	848	3500	90	2,8
54	1148	5000	93	2,9
48	1448	5000	102	2,3

Отечественная же промышленность, теряя темп (а в шахматах и жизни это всегда приводит к потере качества, т. е. к материальным потерям и проигрышу в борьбе), все более отстает от конкурентов, продолжая массовый выпуск устаревшей техники — ламп T12 и T8, в основном, с электромагнитными ПРА со стандартными потерями. Эти аппараты запрещены к производству в Европе, США (и др. развитых странах) с мая 2002 г. из-за их энергетической неэффективности, и поэтому в основном направляются на экспорт в Россию и страны СНГ. На сегодняшний день некоторые отечественные производители выпускают лампы T5.

Это, например, ОАО Лисма-ВНИИИС (Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский институт источников света им. А. Н. Лодыгина; адрес в Интернете <http://www.vniis.ru>).

В табл. 2.15 приведены технические характеристики ламп T5 отечественного производства.

Высокоэффективные люминесцентные лампы ЛБЦТ в трубке диаметром 16 мм (Т5), основные характеристики, ТУ 3467-004-00217001-2001

Таблица 2.15

Тип лампы	ЛБЦТ-13В	ЛБЦТ-21В	ЛБЦТ-28В	ЛБЦТ-35В
Мощность лампы, Вт	13	21	28	35
Ток лампы, А	0,07	0,11	0,13	0,17
Номинальный световой поток (при температуре 25 °С), лм	1200	1870	2580	3250
Номинальный световой поток (при температуре 35 °С), лм	1350	2100	2900	3650
Световая отдача, лм/Вт	103	100	104	104
Цветовая температура, К	3500	3500	3500	3500
Общий индекс цветопередачи, не менее	80	80	80	80
Средняя продолжительность горения, ч	16000	16000	16000	16000
Стабильность светового потока после 10 тыс. ч, %	95	95	95	95
Частота выходного напряжения ЭПРА, кГц	40	40	40	40
Тип цоколя	G5	G5	G5	G5
Габаритные размеры, мм, не более:				
диаметр D	16,5	16,5	16,5	16,5
длина L	563,4	863,4	1163,4	1463,4

Чем же объясняется такой «бум» в производстве и применении ламп типа Т5 и чем нам грозит продолжающееся спокойствие в электроламповой отрасли, отсутствие заинтересованности проектных организаций на фоне полной неквалифицированности массы потребителей и заказчиков?

Основные преимущества новой техники Т5:

- ♦ повышенная световая отдача (до 105 лм/Вт);
- ♦ пониженный спад светового потока благодаря использованию между люминофором и стеклом колбы защитной пленки, исключаяющей отрицательное влияние ртути (через 10 тыс. ч наработки световой поток снижается не более чем на 5 % и остается далее на этом уровне, по сравнению с 20—30 % снижения светового потока для обычных ЛЛ);
- ♦ оптимальная световая отдача ламп Т5 имеет место при температуре окружающего воздуха не 22—25 °С, как для обычных ЛЛ, а при 35 °С, т. е. практически не снижается во многих светильниках (максимальные световые потоки ЛЛ при 35 °С определяются умножением приведенных в табл. 2.13 и табл. 2.14 значений для $T = 25$ °С на коэффициент 1,065);

- ♦ при работе только со специальными электронными ПРА потери мощности комплекта «лампа-ПРА» снижаются на 30—35 %; при этом ЭПРА имеют схему «cut off», исключающую постоянный подогрев электродов после включения ламп;
- ♦ резко сниженное содержание ртути в этих лампах (с 30 до 3 мг);
- ♦ уменьшение диаметра трубки на 40 % (по сравнению с ЛЛ типа Т8), уменьшение длин ламп Т5 приблизительно на 50 мм по сравнению с близкими по мощности лампами Т8;
- ♦ увеличение среднего срока службы ламп до 16 тыс. ч;
- ♦ высокий индекс цветопередачи (80—90).

Сравнение характеристик ламп Т8 (стандартных) и Т5 с цветовой температурой 4000 К приведено в табл. 2.16.

Сравнение характеристик ламп типов Т8 и Т5

Таблица 2.16

Характеристики	Т8		Т5	
	Мощность, Вт	18	36	14
Световой поток, лм	1150	2850	1350	3650
Световая отдача, лм/Вт	64	79	96	104
Индекс цветопередачи	60—69		80—90	
Рабочая температура, °С	25		35	
Средний срок службы, ч	9000—13000		16000—20000	
Снижение светового потока через 40 % среднего срока службы, %	20		5	

Следствием преимуществ являются:

- ♦ снижение установленной мощности осветительных установок (ОУ) на 20—30 % и расхода электроэнергии в них из-за существенного уменьшения коэффициента запаса ОУ и потерь мощности в световых приборах;
- ♦ снижение расхода материалов на производство ЛЛ и светильников, которые могут иметь существенно меньшие габариты;
- ♦ исключение вредного воздействия на здоровье людей из-за исключения пульсаций светового потока ламп;
- ♦ повышение эффективности световых приборов благодаря более высокому КПД и возможности обеспечить требуемые кривые силы света с помощью зеркальной и призматической оптики, значительно лучше работающей с лампами меньшего размера светящего тела;
- ♦ повышение комфортности освещения помещений благодаря исключению слепящего действия в любых направлениях с помощью специальных зеркальных экранирующих «трехмерных» решеток;

- ♦ улучшение экологии новой техники (резкое снижение возможностей ртутного отравления);
- ♦ значительное улучшение экологической обстановки (светильник с двумя лампами мощностью по 35 Вт с ЭПРА выбрасывает в атмосферу за год на 1350 кг меньше двуоксида углерода, чем светильники с электромагнитным ПРА);
- ♦ возможности производства встраиваемых светильников с длиной, не превышающей размеры стандартных строительных модулей (благодаря уменьшенной длине лампы T5);
- ♦ улучшение эстетических характеристик светильников с новыми лампами (меньшие поперечные размеры и высота), соответствие строительному модулю подвесных потолков.

**Примечание.**

Основным препятствием для ускоренного внедрения новой техники с использованием ламп T5 служила первоначально ее высокая цена, которая может быть в 4—5 раз выше, чем у существующих светильников с ЛЛ типа T8.

Эти приборы (например, потолочные светильники с 4-мя лампами по 18—20 Вт, электромагнитными ПРА и зеркальными экранирующими решетками), выпускаемые миллионами штук в год, упали в цене за последние 5—6 лет с \$90—100 до \$15—20. Естественно, что должен пройти определенный период с начала серийного производства, за который новое дорогое изделие сможет заметно подешеветь.

Для технически передовых зарубежных фирм-производителей светильников с ЛЛ переход на выпуск приборов с лампами T5 был более простым. Ведь эти фирмы уже длительное время значительную часть продукции выпускали с ЭПРА, т. е. переход на новый комплект в ценовом отношении был не так ощутим.

2.5. Современные ультрафиолетовые и специальные люминесцентные лампы

Лампы для дезинфекции, загара, установок фотобиологического действия

Свет — это не только освещение. И убедительное подтверждение этому — широкий ассортимент современных ЛЛ ультрафиолетового (УФ) и специального спектра.



Примечание.

Уникальное сочетание оптического (светового и УФ) излучения ртутного разряда и видимого света, генерируемого люминофором, позволяет создавать ЛЛ с практически любыми спектральными свойствами.

Благодаря созданию и совершенствованию искусственных источников УФ излучения, специалистам, работающим с УФ излучением, предоставляются существенно большие возможности, чем при использовании естественного оптического излучения (ОИ).

Спектр заатмосферного Солнца в УФ области стабилен, хорошо изучен, простирается от 400 до 210 нм (непрерывная составляющая). УФ диапазон излучения принято разделять на три поддиапозона (рис. 2.9): «А» — 320—400 нм; «В» — 280—320 нм; «С» — 180—280 нм.

Соотношение потоков излучения Солнца в трех диапазонах УФ области приведено в табл. 2.17.

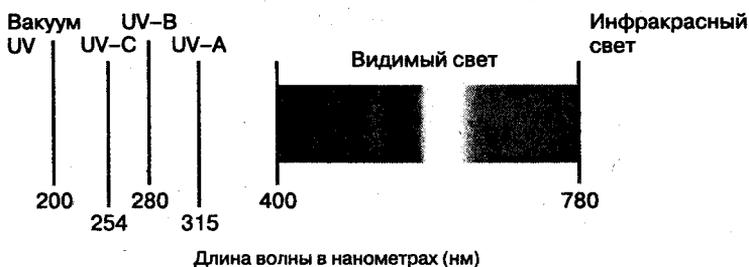


Рис. 2.9. Поддиапазоны ультрафиолетового излучения

Излучение искусственных источников для установки

фотобиологического действия в диапазонах А, В и С УФ области спектра

Таблица 2.17

Тип излучателя	УФС (180—280 нм), %	УФВ (280—320 нм), %	УФА (320—400 нм), %
Затмосферное солнце	5,6	20,1	74,3
Облученность от солнца и неба (июнь м-ц, ясно)	0	7,4	92,6
Облученность от солнца и неба (июнь м-ц, пасмурно)	0	7,8	92,2
Бактерицидная лампа ДБМ-30 (ВНИИИС)	96,71	2,0	1,3
Эритемные лампы ЛЭ30	1,0	63,0	36,0
УФ ЛЛ для загара и пигментации кожи (CLEO, «Philips» и др.)	0	1—5	99—95
ЛЛ «полного спектра» («BioSum» NL36W «Radium»)	0	2,0	98 + видимое излучение

Таким образом, коротковолновое УФС излучение, независимо от времени года, суток или состояния атмосферы, в природе отсутствует. При небольшой доле средневолнового УФВ излучения в естественном спектре ОИ преобладает длинноволновое УФА излучение. В зависимости от углового положения Солнца и состояния атмосферы соотношение излучения в двух указанных диапазонах меняется очень слабо.

Разработкой и производством УФ ламп для установок фотобиологического действия (УФБД) в настоящее время занимаются как ряд крупнейших электроламповых фирм (PHILIPS, OSRAM, RADIUM, SYLVANIANFLP), так и достаточно большое число узкоспециализированных компаний, например, Original Hanau, UV-Technik, Wedeco AG (Германия), Hanovia (США), Lighttech Ltd (Венгрия) и т. д. В России также имеется несколько производителей УФ ламп для УФБД: ОАО «Лисма-ВНИИИС» (Саранск), НПО «ЛИТ» (Москва), ОАО СКБ «Ксенон» (Зеленоград), ООО «ВНИСИ» (Москва).

Номенклатура УФ ламп для УФБД весьма широка и разнообразна; так, например, у ведущего в мире производителя фирмы PHILIPS она насчитывает более 80 типов.

В отличие от осветительных ламп, УФ источники излучения, как правило, имеют селективный спектр, рассчитанный на достижение максимально возможного эффекта для определенного ФБ процесса.

На рис. 2.10 представлена классификация искусственных УФ ИИ по областям применения.

Бесспорно, основной областью применения УФ ламп многие годы являются УФБД для дезинфекции воздуха. Вне конкуренции для указанных целей были и остаются газоразрядные ртутные лампы низкого

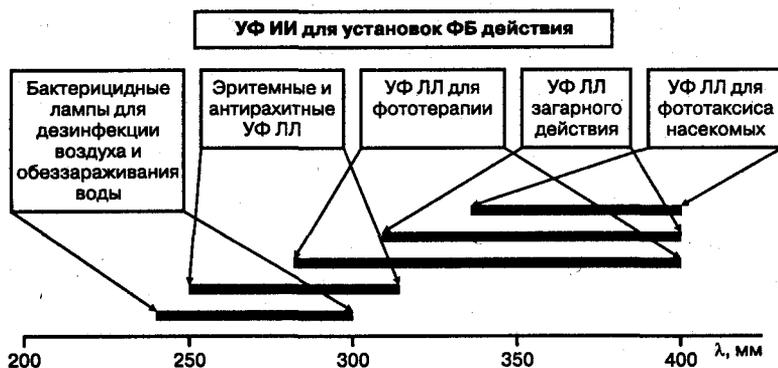


Рис. 2.10. Классификация искусственных УФ ИИ по областям применения

давления (НД) в кварцевом или увиолевом стекле, излучающие в резонансной линии ртути 253,7 нм, расположенной вблизи максимума спектра бактерицидного действия, до 40 % от потребляемой электрической мощности.

Лампы для освещения аквариумов

Рассмотрим некоторые серии ламп специального назначения. Серия ЛЛ OSRAM FLUORA® имеют особое излучение с преобладающей составляющей синего и красного цвета, аналогичное излучению, способствующему фотохимическим процессам. Благодаря такому излучению заметно ускоряется рост растений. Эти лампы предназначены для освещения растений и аквариумов. Лампы этой серии выполнены на основе трубки диаметром 26 мм. Технические характеристики этих люминесцентных ламп приведены в табл. 2.18.

Технические характеристики ЛЛ OSRAM FLUORA®

Таблица 2.18

Тип	Мощность, Вт	Цветность	Световой поток, лм	Диаметр d, мм	Длина, мм
L 15W / 77	15	FLUORA	400	26	438
L 18W / 77	18	FLUORA	550	26	590
L 30W / 77	30	FLUORA	1000	26	895
L 36W / 77	36	FLUORA	1400	26	1200
L 58W / 77	58	FLUORA	2250	26	1500

PHILIPS производит серию специальных ламп для аквариумов — **Aquarelle (Акварель)**. Специальный состав излучения этой люминесцентной лампы оптимально подходит для передачи красоты рыб и растений в пресноводном аквариуме.

Свет ламп Акварель по спектральному составу очень близок к естественному, что обеспечивает оптимальные условия для фотосинтеза и образования хлорофила. Дополнительным преимуществом ламп Акварель является исключительно высокая энергетическая плотность излучения в синей части спектра. Хорошо сбалансированный спектр излучения стимулирует образование кислорода, а также оказывает благотворное воздействие на аквариумные растения и рыбу и обеспечивает хорошую цветопередачу.

Лампы предназначены для использования в сети переменного тока со стандартными или высокочастотными ПРА. В табл. 2.19 приведены габаритные размеры ламп этой серии, а в табл. 2.20 — их технические характеристики.

Габаритные размеры ламп PHILIPS серии Aquarelle

Таблица 2.19

Тип	A max	B min	B max	C max	D max
Цоколь G5					
TL D 8W / 89	288,3	293,0	295,4	302,5	16,0
Цоколь G13					
TL D 14W / 89	361,2	365,9	368,3	375,4	28,0
TL D 15W / 89	437,4	442,1	444,5	451,6	28,0
TL D 18W / 89	589,8	594,5	596,9	604,0	28,0
TL D 25W / 89	740,0	744,7	747,1	754,2	28,0
TL D 30W / 89	894,6	899,3	901,7	908,8	28,0
TL D 36W / 89	1199,4	1204,1	1206,5	1213,6	28,0
TL D 38W / 89	1047,0	1051,7	1054,1	1061,2	28,0
TL D 58W / 89	1500,0	1504,7	1507,1	1514,2	28,0

В зависимости от индивидуальных предпочтений лампы Акварель могут использоваться вместе с лампами PHILIPS TL-D / 80 New Generation или TL-D / 90 De Luxe для создания различных зрительных впечатлений без ухудшения биологических свойств излучения ламп Акварель.

Технические характеристики ламп PHILIPS серии Aquarelle

Таблица 2.20

Тип	Цоколь	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Индекс цветопередачи	Цветовая температура, К	Световой поток, лм	Полезный срок службы, ч	Вес нетто, г
TLD 8W / 89	G5	56	0,15	70	10000	340	8000	29
TLD 14W / 89	G13	45	0,38	70	10000	600	8000	66
TLD 15W / 89	G13	51	0,34	70	10000	750	8000	76
TLD 18W / 89	G13	59	0,36	70	10000	1020	8000	100
TLD 25W / 89	G13	82	0,38	70	10000	1440	8000	85
TLD 30W / 89	G13	98	0,36	70	10000	1820	8000	145
TLD 36W / 89	G13	103	0,44	70	10000	2450	8000	186
TLD 38W / 89	G13	104	0,43	70	10000	2380	8000	162
TLD 58W / 89	G13	111	0,67	70	10000	3800	8000	233

Лампы для декоративного освещения

Цветные лампы красного, зеленого, желтого, синего цвета, предназначенные для светового оформления в декоративных целях, имеются в номенклатуре всех ведущих производителей ЛЛ. В табл. 2.21 приведены основные характеристики цветных ламп OSRAM, а в табл. 2.22 и табл. 2.23 приведены основные характеристики цветных ламп PHILIPS.

Характеристики цветных люминесцентных ламп OSRAM

Таблица 2.21

Тип	Мощность, Вт	Цвет свечения	Световой поток, лм	Диаметр d, мм	Длина, мм
L 18W / 60	18	Красный	900	26	590
L 18W / 62	18	Желтый	980	26	590
L 18W / 66	18	Зеленый	1800	26	590
L 18W / 67	18	Синий	400	26	590
L 30W / 67	30	Синий	600	26	895
L 36W / 60	36	Красный	2400	26	1200
L 36W / 62	36	Желтый	2300	26	1200
L 36W / 66	36	Зеленый	4700	26	1200
L 36W / 67	36	Синий	1000	26	1200
L 58W / 60	58	Красный	3800	26	1500
L 58W / 62	58	Желтый	3700	26	1500
L 58W / 66	58	Зеленый	7300	26	1500
L 58W / 67	58	Синий	1600	26	1500

Габаритные размеры цветных люминесцентных ламп PHILIPS

Таблица 2.22

Тип	Габаритные размеры, мм			
	A max	B min	B max	C max
TL D 18W	589,8	594,5	596,9	604,0
TL D 36W	1199,4	1204,1	1206,5	1213,6

Характеристики цветных люминесцентных ламп PHILIPS

Таблица 2.23

Тип	Цоколь	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Световой поток, лм	Спад потока после 5000 ч, %	Вес, г
Красный						
TL D 18W / 15	G13	59	0,36	25	90	100
TL D 36W / 15	G13	103	0,44	60	90	186
Желтый						
TL D 18W / 16	G13	59	0,36	660	75	100
TL D 36W / 16	G13	103	0,44	1580	75	186
Зеленый						
TL D 18W / 17	G13	59	0,36	1300	60	100
TL D 36W / 17	G13	103	0,44	3140	60	186
Синий						
TL D 18W / 18	G13	59	0,36	400	70	100
TL D 36W / 18	G13	103	0,44	970	70	186

2.6. Компактные люминесцентные лампы

Что такое КЛЛ

Долгое время широкое использование стандартных ЛЛ в домашних условиях (для освещения жилья) было ограничено из-за собственных габаритных размеров ЛЛ. В начале 80-х годов прошлого столетия стали появляться многочисленные типы компактных люминесцентных ламп (сокращенно КЛЛ, в английском варианте CFL — Compact Fluorescent Lamps) мощностью от 5 до 25 Вт со световыми отдачами от 30 до 60 лм/Вт и сроками службы от 5 до 10 тыс. ч.

Разработка КЛЛ стала возможна только в результате создания высокостабильных узкополосных люминофоров, активированных редкоземельными элементами, которые могут работать при более высоких поверхностных плотностях облучения, чем в стандартных ЛЛ. За счет этого удалось значительно уменьшить диаметр разрядной трубки.

Что касается сокращения габаритов ламп в длину, то эта задача была решена путем разделения трубок на несколько более коротких участков,

расположенных параллельно и соединенных между собой либо изогнутыми участками трубки, либо вваренными стеклянными патрубками.

Классификация КЛЛ

КЛЛ делятся на три подгруппы:

- ♦ **подгруппа 1** — двухвыводные (штырьковые), имеющие встроенный в специальный цоколь G23, стартер с конденсатором и предназначенные для работы с внешним электромагнитным ПРА;
- ♦ **подгруппа 2** — четырехвыводные (штырьковые) универсальные, работающие совместно с внешним электронным или электромагнитным ПРА;
- ♦ **подгруппа 3** — компактные люминесцентные лампы с интегрированным (встроенным) в цоколь электронным балластом (ЭПРА). Имеют стандартный резьбовой цоколь E27 (или E14).

Покупать ли КЛЛ?

Цена КЛЛ с интегрированным (встроенным) в цоколь электронным балластом (ЭПРА) известных производителей (OSRAM, PHILIPS, GE Lighting), выпускающих действительно качественную продукцию, составляет в среднем \$5—10. И здесь, конечно, уместен вопрос: «Покупать или нет?».

На этот вопрос человек, который не в курсе дела, ответит однозначно: «Конечно, нет, раз это так дорого!». Действительно, покупать вместо привычной с детства простой лампы накаливания, стоящей в любом магазине 4—5 руб., неизвестную лампу, цена которой в 25—30 раз выше, кажется абсолютно нелогичным. Однако, это только на первый, причем самый неквалифицированный, взгляд. В действительности все обстоит наоборот.

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) — самый современный продукт светотехнической отрасли. Они сохраняют все основные достоинства люминесцентных ламп, уже ставших традиционными, но лишены их недостатков. Новые технологические возможности позволили значительно уменьшить диаметр трубки (до 7 мм) и, изогнув ее один раз (в виде буквы П), дважды, трижды или закрутив ее в спираль, получить малогабаритную лампу с одним цоколем со штырьками, как у линейной люминесцентной лампы (в этом случае ПРА устанавливаются отдельно, как и раньше), или с резьбовым эдисоновским цоколем, как у стандартной лампы накаливания.

В лампах с резьбовым цоколем электронный малогабаритный и легкий ПРА встраивается непосредственно в основание лампы у резьбового цоколя. Такая компактная лампа предназначена для прямой замены лампы накаливания в тех же светильниках и при тех же патронах. При такой замене вы получаете пятикратную экономию электроэнергии (т. к. КЛЛ имеет световую отдачу, по крайней мере, в 5 раз большую, чем лампа накаливания той же мощности) вы можете использовать эти лампы в 8—12 раз дольше (их срок службы составляет 8—12 тыс. ч), причем в течение этого периода КЛЛ генерирует в 40—60 раз больше световой энергии.

Размеры четырехканальных КЛЛ мощностью 18 Вт не превышают 145 мм, а одна такая лампа заменяет за срок своей службы 40—60 ламп накаливания мощностью по 60 Вт.

В реальных условиях работы в жилых домах (обычно осветительные приборы в них включены менее 1500 ч в год) КЛЛ надо менять не два раза в год, как лампы накаливания, а один раз в 8 лет. Немалую роль играет также мизерное содержание ртути в КЛЛ (около 3 мг).

Велики и экологические преимущества КЛЛ: за срок службы лампа мощностью 18 Вт позволяет в два раза уменьшить выброс в атмосферу двуокиси углерода и на 7,5 кг — двуокиси серы. Эти вещества выбрасывались бы в атмосферу на тепловых электростанциях при выработке того количества электроэнергии, которое потреблялось бы заменяемыми лампами накаливания.

Значительно более сложные, чем лампы накаливания, КЛЛ и стоят существенно дороже. Лампы отечественного производства (ОАО Лисма-ВНИИИС — www.vniis.ru; Московский электроламповый завод МЭЛЗ — www.melz.ct.ru) стоят несколько дешевле, чем зарубежные бренды. Вместе с тем, первоначальные затраты на покупку КЛЛ достаточно быстро окупятся и весь последующий период будут приносить чистый доход.

Выбор КЛЛ

Как уже упоминалось, КЛЛ является высокотехнологичным светотехническим изделием, качество света и долговечность этого источника определяется его составляющими:

- ♦ люминофором лампы;
- ♦ надежностью электронного ПРА.

**Внимание.**

Дешевизна китайско-польско-турецких КЛЛ объясняется использованием дешевого люминофора, светоотдача которого уже после 1000 ч работы падает на 50 %; при этом излучаемый свет имеет очень низкий индекс цветопередачи. Добавьте сюда низкую надежность и долговечность электронного балласта, который создает ко всему еще и помехи телевизионному и радиоприему (в результате отсутствия помехоподавляющего высокочастотного фильтра), и станет понятно, что говорить об экономии и хорошем настроении от приятного освещения не приходится.

Поэтому внимание следует уделить проверенным КЛЛ известных зарубежных и отечественных светотехнических производителей.

Мощность КЛЛ может быть в 5 раз меньше, чем мощность заменяемых ламп накаливания, если вы хотите получить тот же уровень освещенности, который вы имели раньше. Если же вы с помощью КЛЛ хотите не только сэкономить электроэнергию, но одновременно и улучшить условия освещения, то мощность приобретаемой КЛЛ может быть меньше мощности заменяемой лампы в 3—4 раза.

**Совет.**

Лампы, которые вы будете приобретать и вставлять в существующие светильники, не должны, по возможности, выступать из рассеивателей или отражателей этих светильников. Наименьшую длину имеют четырех- и шестиканальные лампы.

Наиболее миниатюрными из КЛЛ являются лампы серии Lotus, которые производит ООО «Электрум Плюс», г. Киев, адрес в Интернет <http://www.electrum.com.ua>.

**Совет.**

При покупке обратите внимание на патрон светильника и цоколь заменяемой лампы накаливания. Абсолютное большинство КЛЛ имеют резьбовой цоколь E27. Лампы КЛЛ с цоколем E14 («Миньон») встречаются на нашем рынке редко, но приобрести их возможно.

При установке КЛЛ нельзя братья и прилагать усилия непосредственно к стеклянным трубкам (они довольно хрупкие) — для этого существует пластмассовое основание цоколя.

Дополнительные возможности КЛЛ

Некоторые КЛЛ обладают также дополнительными возможностями. Одна из серий КЛЛ с дополнительными возможностями — серия OSRAM DULUX® EL VARIO — электронные КЛЛ с возможностью регулирования светового потока. Их особенности:

- ♦ 12-летний срок службы (при работе около 3 ч в день);
- ♦ регулировка светового потока без светорегулятора;
- ♦ уменьшение светового потока более чем на 50 % с помощью простого выключения и повторного включения лампы в течение 3 с;
- ♦ дополнительная экономия электроэнергии с помощью простого выключения и повторного включения лампы в течение 3 с, после которого потребление тока лампой уменьшается более чем наполовину;
- ♦ возможность неограниченного по количеству раз выключения и повторного включения лампы OSRAM DULUX® EL VARIO.

Эти лампы могут найти широкое применение как в быту, так и в профессиональной сфере (гостиницы, предприятия общественного питания) — везде, где нужно изменять уровень освещенности.

Благодаря своей неограниченной прочности на включение и выключение лампа OSRAM DULUX® EL VARIO является предпочтительным источником света для систем лестничного освещения с режимом автоматического отключения.

Еще одна серия ламп с дополнительными возможностями — серия OSRAM DULUX® EL SENSOR — электронные КЛЛ с фотоэлементом и потенциометром. Их особенности:

- ♦ средний срок службы 15 тыс. ч;
- ♦ лампа OSRAM DULUX® EL SENSOR автоматически включается при наступлении темноты и автоматически выключается при дневном свете;
- ♦ возможность регулировки порога срабатывания фотоэлемента. Устанавливаемое время включения и выключения обеспечивает возможность эксплуатации во многих рабочих положениях (например, в открытых светильниках или в светильниках с опаловым защитным стеклом);

- ♦ распознавание фотоэлементами дневного света по спектральному распределению излучения.

Можно с уверенностью утверждать, что за КЛЛ — будущее, которое создается уже сегодня.

Соответствия КЛЛ различных производителей

Соответствия некоторых серий компактных люминесцентных ламп OSRAM, GE Lighting, PHILIPS приведены в табл. 2.24.

Соответствия некоторых серий КЛЛ OSRAM, GE Lighting, PHILIPS

Таблица 2.24

OSRAM	GE Lighting	PHILIPS Lighting
Четырехвыводные компактные люминесцентные лампы для работы с внешним электронным ПРА		
DULUX® S/E	Biax S/E	PL-S 4-PIN
DULUX® D/E	Biax D/E	PL-C 4-PIN
DULUX® T/E (IN)	Biax T/E	PL-T 4-PIN
DULUX® L (SP)	Biax L	PL-L 4-PIN
DULUX® F	—	—
—	Biax Q/E	Master PL-H
—	Biax 2D/E	PL-Q Pro
Двухвыводные (со встроенным в цоколь стартером) компактные люминесцентные лампы для работы с внешним электромагнитным ПРА		
DULUX® S	Biax S	PL-S 2-PIN
DULUX® D	Biax D	PL-C 2-PIN
DULUX® T	Biax T	PL-T 2-PIN
—	Biax 2D	PL-Q Pro
Компактные люминесцентные лампы с интегрированным в цоколь электронным ПРА и предназначенные для непосредственной замены ламп накаливания		
Dulux EL 2-turn E14	Electronic Biax M	ECOTONE Economy
Dulux EL 2-turn E27	Electronic Biax D	ECOTONE Economy
Dulux EL 3-turn LONGLIFE, FACILITY, ECONOMY, VARIO, SENSOR	Electronic Biax T	PL E-T
Dulux EL Globe	Electronic Biax Globe	PL E-D Decor Globe EL/A, Vanity Globe BC-EL/A
—	Electronic Biax Q	—
—	Genura R80 Induction Lamp	—
DULUX® EL CLASSIC	—	Ecotone AMBIANCE
DULUX® EL REFLECTOR	—	Reflector Flood BC-EL/A BR-30Flood SLS/R30
CIRCOLUX® EL	—	FC8T9/SYS
—	—	Twister BC-EL/DT

Технические характеристики КЛЛ

Характеристики КЛЛ OSRAM LUMILUX® (группа цветопередачи 1В)

Таблица 2.25

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм, для ламп с цветностью				Длина L, мм
		860, Daylight	840, Cool White	830, Warm White	827, INTERNA	
OSRAM DULUX® T						
DULUX T 13W /—	13	—	900	900	900	90
DULUX T 18W /—	18	—	1200	1200	1200	100
DULUX T 26W /—	26	—	1800	1800	1800	115
OSRAM DULUX® T/E						
DULUX T/E 13W /—	13	—	900	900	900	90
DULUX T/E 18W /—	18	—	1200	1200	1200	100
DULUX T/E 26W /—	26	—	1800	1800	1800	115
DULUX T/E 32W /—	32	—	2400	2400	2400	131
DULUX T/E 42W /—	42	—	3200	3200	3200	152
DULUX T/E 57W /—	57	—	4300	4300	4300	181
OSRAM DULUX® D						
DULUX D 10W /—	10	—	600	600	600	87
DULUX D 13W /—	13	—	900	900	900	115
DULUX D 18W /—	18	—	1200	1200	1200	130
DULUX D 26W /—	26	—	1800	1800	1800	149
OSRAM DULUX® D/E						
DULUX D/E 10W /—	10	—	600	600	600	87
DULUX D/E 13W /—	13	—	900	900	900	115
DULUX D/E 18W /—	18	—	1200	1200	1200	130
DULUX D/E 26W /—	26	—	1800	1800	1800	149
OSRAM DULUX® S						
DULUX S 5W /—	5	—	250	250	250	85
DULUX S 7W /—	7	375	400	400	400	114
DULUX S 9W /—	9	565	600	600	600	144
DULUX S 11W /—	11	850	900	900	900	214
OSRAM DULUX® S/E						
DULUX S/E 5W /—	5	—	250	—	250	85
DULUX S/E 7W /—	7	—	400	400	400	114
DULUX S/E 9W /—	9	—	600	600	600	144
DULUX S/E 11W /—	11	—	900	900	900	214
OSRAM DULUX® F						
DULUX F 18W /—	18	—	1100	1100	1100	122
DULUX F 24W /—	24	—	1700	1700	1700	165
DULUX F 36W /—	36	—	2800	2800	2800	217
OSRAM DULUX® L						
DULUX L 18W /—	18	—	1200	1200	1200	217
DULUX L 24W /—	24	—	1800	1800	1800	317
DULUX L 36W /—	36	2750	2900	2900	2900	411
DULUX L 40W /—	40	3325	3500	3500	3500	533
DULUX L 55W /—	55	4550	4800	4800	4800	533
DULUX L 80W /—	80	—	6000	6000	—	570

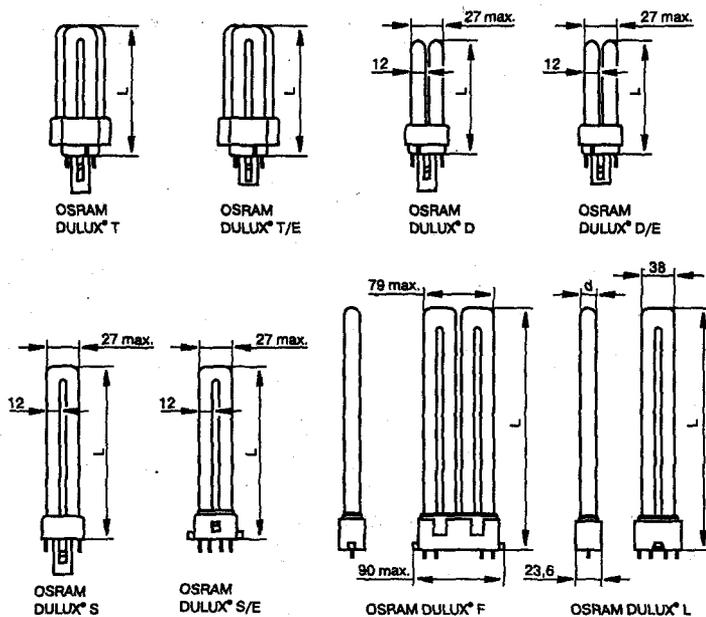


Рис. 2.11. Габаритные размеры OSRAM DULUX® (к табл. 2.25)

Характеристики КЛЛ OSRAM LUMILUX® DE LUXE (группа цветопередачи 1A) Таблица 2.26

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм, для ламп с цветностью			Длина L, мм
		950, Daylight	940, Cool White	930, Warm White	
OSRAM DULUX® L					
DULUX L 18W /—	18	750	750	750	217
DULUX L 24W /—	24	1200	1200	1200	317
DULUX L 36W /—	36	1900	1900	1900	411
DULUX L 40W /—	40	2200	—	—	533
DULUX L 55W /—	55	3000	3000	3000	533

Характеристики КЛЛ OSRAM DULUX® EL с цветностью 827 INTERNA

Таблица 2.27

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Диаметр d, мм	Длина L, мм
OSRAM DULUX® EL Mini				
DULUX EL 3W /827 E14	3	100	30	115
DULUX EL 5W /827 E14	5	240	36	124
DULUX EL 7W /827 E14	7	400	45	136
DULUX EL 11W /827 E14	11	600	45	148
OSRAM DULUX® EL				
DULUX EL 5W /827 E27	5	240	36	121
DULUX EL 7W /827 E27	7	400	45	131,5
DULUX EL 11W /827 E27	11	600	45	143

Таблица 2.27 (продолжение)

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Диаметр d , мм	Длина L , мм
DULUX EL 15W /827 E27	15	900	52	140
DULUX EL 20W /827 E27	20	1200	52	153,5
DULUX EL 23W /827 E27	23	1500	58	173
OSRAM DULUX® EL CLASSIC				
DULUX EL CL B 5W /827 E14	5	150	46	131
DULUX EL CL A 5W /827 E27	5	150	60	111
DULUX EL CL B 7W /827 E14	7	280	46	131
DULUX EL CL A 7W /827 E27	7	350	60	111
DULUX EL CL A 10W /827 E27	10	500	60	123,5
DULUX EL CL A 11W /827 E27	11	550	70	147
DULUX EL CL A 15W /827 E27	15	800	70	149,5
OSRAM DULUX® EL FACILITY				
DULUX EL FCY 10W /827 E27	10	500	45	129
DULUX EL FCY 10W /827 E14	10	500	45	133
DULUX EL FCY 14W /827 E27	14	800	52	131
OSRAM DULUX® EL SENSOR PLUS				
DULUX EL 15W /Sensor	15	900	52	140
OSRAM DULUX® EL REFLECTOR				
DULUX EL-R 15W /827 E27	15	335	102	143
DULUX EL-R 20W /827 E27	20	450	117,5	161
OSRAM DULUX® EL GLOBE				
DULUX EL GL 15W /827 E27	15	700	100	169
DULUX EL GL 20W /827 E27	20	1150	120	190
OSRAM CIRCOLUX® EL				
CIRCOLUX EL 24W /827 E27	24	1700	225	99
OSRAM DULUX® EL VARIO				
DEL VAR 23W /827 E27	23	1500	58	173

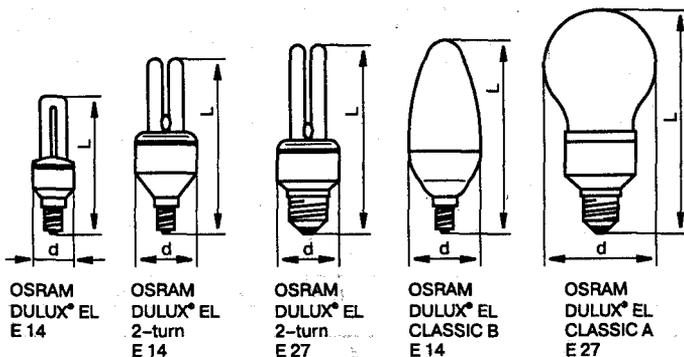


Рис. 2.12. Габаритные размеры OSRAM DULUX® EL с цветностью 827 INTERNA (к табл. 2.27)

Технические характеристики ламп OSRAM DULUX®

Таблица 2.28

Лампа OSRAM DULUX®	Напряжение лампы, В		Ток лампы, мА		Яркость, кд/см ²
	при 50 Гц	при ВЧ ПРА	при 50 Гц	при ВЧ ПРА	
DULUX S 5W	35	-	180	-	2,5
DULUX S 7W	47	-	175/180	-	2,6
DULUX S 9W	60	-	170/180	-	2,8
DULUX S 11W	91	-	155/-	-	2,7
DULUX D 10W	64	-	190	-	4,0
DULUX D 13W	91	-	175	-	4,0
DULUX D 18W	100	-	220	-	4,5
DULUX D 26W	105	-	325	-	5,5
DULUX T 13W	91	-	175	-	4,2
DULUX T 18W	100	-	225	-	4,7
DULUX T 26W	105	-	325	-	6,0
DULUX S/E 5W	35	27	180	190	2,5
DULUX S/E 7W	47	37	175	175	2,6
DULUX S/E 9W	60	48	170	170	2,8
DULUX S/E 11W	91	75	155	150	2,7
DULUX D/E 10W	64	51	190	190	4,0
DULUX D/E 13W	91	77	175	165	4,0
DULUX D/E 18W	100	80	220	210	4,5
DULUX D/E 26W	105	80	325	300	5,5
DULUX T/E 13W	91	77	175	165	4,2
DULUX T/E 18W	100	80	220	210	4,7
DULUX T/E 26W	105	80	325	300	6,0
DULUX T/E 32W	-	100	-	320	6,5
DULUX T/E 42W	-	135	-	320	7,0
DULUX T/E 57W	-	182	-	320	7,0
DULUX L 18W	58	50	375	320	2,1
DULUX L 24W	87	75	345	300	2,1
DULUX L 36W	106	90	435	360	2,8
DULUX L 40W	-	126	-	320	2,3
DULUX L 55W	-	101	-	550	3,2
DULUX F 18W	58	50	375	320	2,4
DULUX F 24W	87	75	345	300	2,5
DULUX F 36W	106	90	435	360	3,0

Габаритные размеры КЛЛ фирмы GE Lighting серии Vial™ Q/E приведены в табл. 2.29. В табл. 2.30 приведены характеристики этих ламп.

Габаритные размеры КЛЛ фирмы GE Lighting серии Vial™ Q/E

Таблица 2.29

Мощность лампы, Вт	Габаритные размеры, мм, не более					
	A	B	C	L	D	MOL
42	51	51	163,3	135,5	58	154
57	51	51	163,3	135,5	58	178
70	51	51	193,3	165,5	58	208

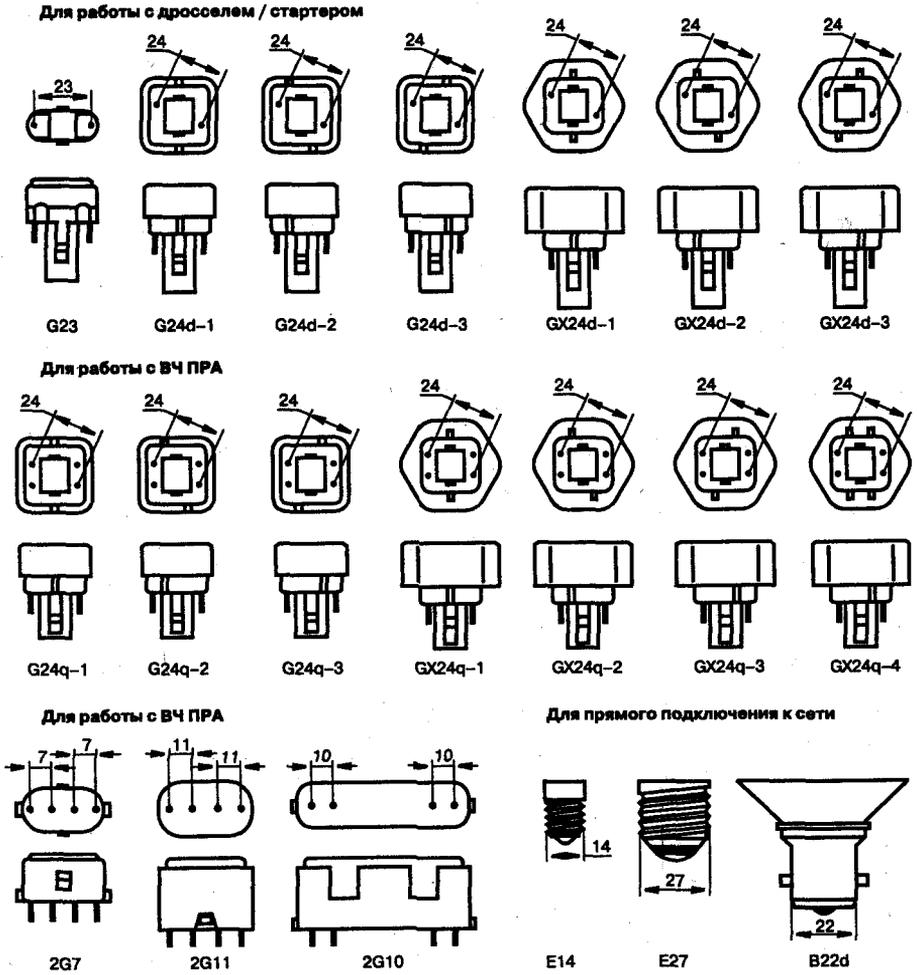


Рис. 2.13. Габаритные размеры КЛЛ фирмы GE Lighting серии Biax™ Q/E (к табл. 2.29)

Характеристики КЛЛ фирмы GE Lighting серии Biax™ Q/E

Таблица 2.30

Мощность, Вт	Код цветности	Световой поток, лм	Номинальный средний срок службы, тыс. ч	Напряжение лампы, В	Ток лампы, А
42	830	3200	10–12	140	0,3
	835				
	840				
57	827	4300	10–12	182	0,32
	830				
	835				
	840				
	850				

Таблица 2.30 (продолжение)

Мощность, Вт	Код цветности	Световой поток, лм	Номинальный средний срок службы, тыс. ч	Напряжение лампы, В	Ток лампы, А
70	827	5200	10—12	219	0,32
	830				
	835				
	840				
	850				

Характеристики КЛЛ фирмы GE Lighting серии Biax™ 2D®/E (4 штырьковая) Таблица 2.31

Мощность, Вт	Код цветности	Световой поток, лм	Номинальный средний срок службы, тыс. ч	Длина, мм
10	827	650	10	92
	835			
16	827	1050	10	142
	835			
21	827	1350	10	142
	835			
	860			
28	827	2050	10	205
	835			
	840			
38	827	2850	10	205
	835			
55	827	4000	10	205
	835			

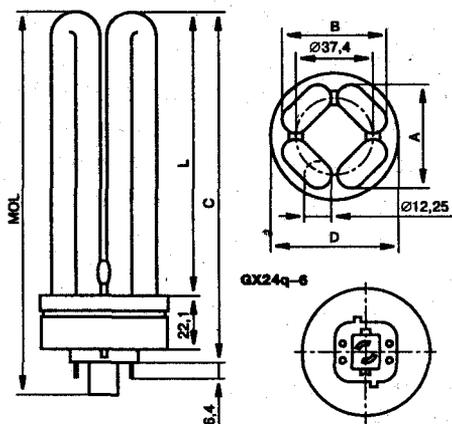


Рис. 2.14. Габаритные размеры КЛЛ фирмы GE Lighting серии Biax™ 2D®/E, 4 штырьковой (к табл. 2.31)

2.7. Безэлектродные индукционные люминесцентные лампы

Создание безэлектродных индукционных люминесцентных ламп

Исследования возможностей использования электромагнитных колебаний высоких и сверхвысоких частот (ВЧ и СВЧ) для возбуждения светозлучающего разряда, проводившиеся учеными в течение более ста лет, привели к созданию в последнем десятилетии XX века безэлектродных источников света. И тем самым открыли дорогу для нового этапа в развитии светотехники, связанного с внедрением долговечных и высокоэффективных индукционных и микроволновых ламп.

90-е годы прошлого столетия были ознаменованы эпохальным событием в концепции развития люминесцентных ламп. Лидерами в сфере производства и разработки светотехнических изделий и систем — фирмами PHILIPS Lighting, GE Lighting (Дженерал Электрик Лайтинг) и OSRAM — были разработаны и внедрены в производство безэлектродные индукционные люминесцентные лампы (ИЛЛ).

Принцип действия ИЛЛ

В этих лампах, как и в других люминесцентных лампах, для возбуждения свечения люминофоров используется газовый разряд в парах ртути и инертного газа (аргон или криптон). Поддержание разряда осуществляется за счет энергии электромагнитного поля, которое создается в непосредственной близости от разрядного объема. Создание безэлектродных ИЛЛ стало возможным благодаря успехам полупроводниковой электроники, которые позволили разработать малогабаритные и сравнительно дешевые источники высокочастотной (ВЧ) энергии с высоким КПД.

Все возможные типы безэлектродных ИЛЛ состоят из трех основных узлов:

- ♦ малогабаритного источника ВЧ энергии;
- ♦ устройства для эффективной передачи ВЧ энергии в разряд, называемого индуктором;
- ♦ разрядного объема.

Первые серийные образцы безэлектродных индукционных люминесцентных ламп (ИЛЛ) были выпущены компанией PHILIPS Lighting в 1991—1992 гг. под торговой маркой QL (Quality Lighting). Эти люми-

несцентные источники света, максимально приближенные по форме к лампе накаливания общего назначения (рис. 2.15).

Колба лампы имеет цилиндрическое углубление для размещения индуктора, покрыта изнутри люминофором и наполнена инертным газом с небольшим количеством ртути в виде амальгамы. Индуктор (соленоид) с ферритовым сердечником, на который надета колба, является индуктивностью выходного контура транзисторного ВЧ-генератора и связан с ним через коаксиальный кабель для уменьшения потерь на ВЧ-излучение.

Электромагнитное поле индуктора на частоте 2,65 МГц возбуждает разряд в парах ртути с УФ-излучением, воздействующим на люминофорное покрытие из трехкомпонентной смеси гексагональных алюминатов, активированных редкоземельными элементами, а люминофор, в свою очередь, излучает видимый свет (рис. 2.16).

Время полного разгорания разряда — около 1 мин. Люминофор и стекло защищены от ртутного загрязнения светопрозрачной защитной пленкой (как и в ЛЛ типа Т5), обеспечивающей спад светового потока менее 10 % после 10—20 тыс. ч и 25 % после 60 тыс. ч работы лампы.

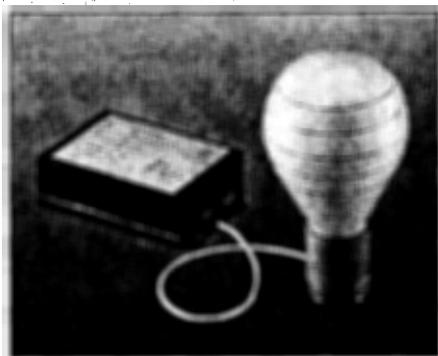


Рис. 2.15. Внешний вид лампы QL

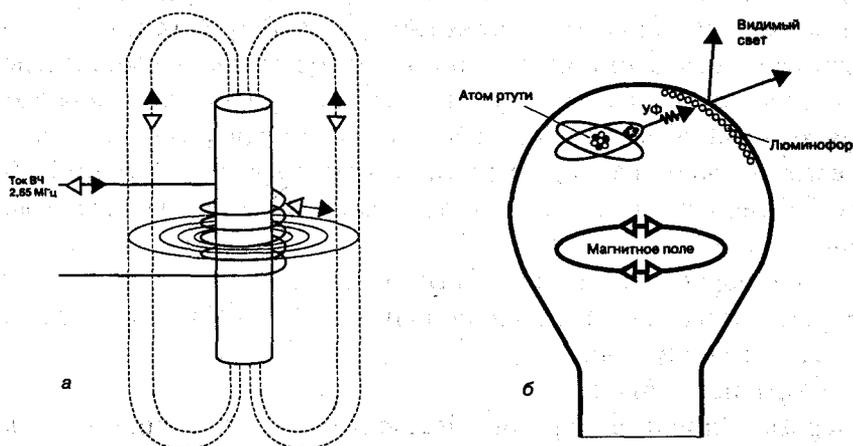


Рис. 2.16. Принцип действия безэлектродных индукционных люминесцентных ламп: а — магнитное поле индуктора; б — излучение света люминофором

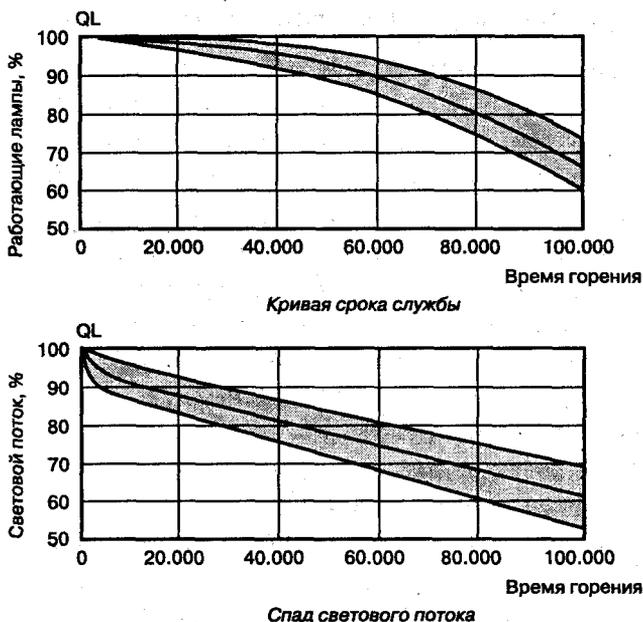


Рис. 2.17. Зависимости количества исправных ламп и падения светового потока от времени работы

Без защитной пленки 25 %-ный спад светового потока происходит после 8 тыс. ч, т. е. срок службы лампы QL с защитной пленкой увеличивается почти на порядок. Отметим, что срок службы этих ламп существенно превышает срок службы транзисторов в ВЧ-генераторах.

На рис. 2.17 показаны зависимости количества исправных ламп и падения светового потока от времени работы ламп в часах.



Совет.

Благодаря чрезвычайно большому сроку службы ИЛЛ представляют собой идеальный источник света для освещения цехов с непрерывным режимом работы и в случаях, когда доступ к светильникам при обслуживании затруднен, например, при значительной высоте установки (потолки) и загроможденности зон подхода, а также там, где замена ламп связана со значительными материальными затратами.

Технические характеристики ИЛЛ типа QL

Впервые лампы типа QL мощностью 85 Вт были использованы в светильниках, изготовленных в стиле газовых фонарей и установленных на одной из площадей Парижа, а также в пешеходной части Елисейских полей. Лампы QL мощностью 55 Вт были использованы впервые в установках с полыми протяженными световодами в парапетной системе освещения пешеходных и велосипедных дорожек нового моста в г. Гроннингене (Голландия). В [4] приведено множество примеров применения ламп типа QL в установках наружного и внутреннего освещения: среди них подсветка часов на башне Биг Бен, освещение Палаты лордов в Парламенте Великобритании, туннеля на автостраде между городами Вева и Монтре на берегу Женевского озера, железнодорожного вокзала для высокоскоростного экспресса в Брюсселе, крупных торговых центров в Мадриде, Барселоне, Гамбурге и т. д. В этих осветительных устройствах, в основном, использовались лампы QL мощностью 165 Вт.



Примечание.

Увеличение мощности ламп типа QL свыше 165 Вт ограничено возможностями теплоотвода от индуктора и допустимыми уровнями электромагнитных излучений.

По напряженности электрического поля предельно допустимый уровень (ПДУ) излучения на рабочих местах в течение дня для частот от 60 кГц до 3 МГц составляет 50 В/м, а по напряженности магнитного поля — 5 А/м. В лампах типа QL и Genura разряд оказывает некоторое экранирующее воздействие на уровень ВЧ-излучений индуктора. Цена комплекта QL составляет около 250 евро. В табл. 2.32 приведены технические характеристики QL.

Характеристики ИЛЛ типа QL

Таблица 2.32

Параметр	QL 55W	QL 85W	QL 165W
Мощность системы QL, Вт	55	85	165
Световой поток, лм	3500	6000	12000
Световая отдача, лм/Вт	65	72	73
Цветовая температура излучения, К	2700	2700	—
	3000	3000	3000
	4000	4000	4000
Индекс цветопередачи, R _a	более 80	более 80	более 80
Максимальное время зажигания и пережигания, с	0,5	0,5	0,5
Диапазон рабочих температур окружающего воздуха (в закрытом светильнике), °С	от -20 до +65	от -20 до +65	от -20 до +65

Компактные ИЛЛ фирмы GE

Следующим этапом развития ИЛЛ являлось создание в 1994 году фирмой GE Lighting компактной лампы типа Genura, в которой благодаря достижениям современной микроэлектроники ВЧ-генератор был размещен в цоколе лампы.



Примечание.

В отличие от QL, Genura относится к группе компактных ЛЛ (ВЧ генератор находится в цоколе лампы) и предназначена для непосредственной замены стандартных ламп накаливания.

На рис. 2.18 показана эквивалентная замена рефлекторного светильника с лампой накаливания на безэлектродную ИЛЛ Genura.

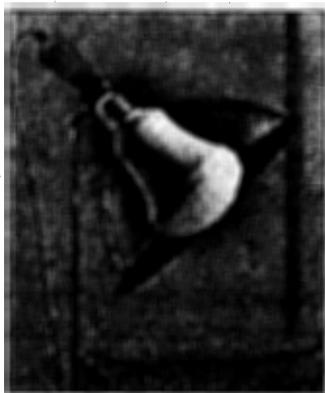


Рис. 2.18. Замена ЛН на ИЛЛ Genura в рефлекторном светильнике

Замена ЛН лампой Genura обеспечивает экономию электроэнергии в 4—5 раз и повышает продолжительность эксплуатации в 10—15 раз. Так, экономический эффект при замене ЛН типа R80 лампами Genura (при высокой начальной стоимости лампы Genura — около \$ 25) достигается через 8 месяцев, а в течение всего срока службы (15 тыс. ч) эксплуатация 100 шт. ламп Genura обеспечивает общую экономию более \$20000. Гарантированный срок службы лампы Genura фирма GE Lighting скромно заявила как 15000 ч, ссылаясь на стандарт IEC 969.

По форме колбы и габаритным размерам лампа Genura™ R80 соответствует зеркальной ЛН типа R80 (100 Вт). В прицокольной части лампы размещен транзисторный генератор частотой 2,5 МГц, потребляющий 23 Вт от сети переменного тока напряжением 230 В. Колба лампы Genura покрыта изнутри люминофором марки «Полилюкс» и наполнена ксеноном с небольшим количеством ртути. Внутреннее строение лампы Genura показано на рис. 2.19.

Расположение индуктора с ферритовым сердечником внутри колбы лампы соответствует конструкции безэлектродной ИЛЛ типа QL. То обстоятельство, что ВЧ-генератор находится в самой лампе, ограничивает ее мощность и срок службы, который в основном определяется тепловой и радиационной стойкостью транзисторного генератора.

Экранирующее действие слабого ВЧ-разряда, по-видимому, считается недостаточным, и в целях снижения уровня электромагнитных излучений от индуктора на поверхности колбы под слоем люминофора нанесено проводящее покрытие из тонкой пленки окиси цинка.

ИЛЛ типа Genura снабжена отражателем из белого полипропилена марки Валокс, сохраняющего свою форму при изменении температуры от -20°C до $+120^{\circ}\text{C}$. Технические характеристики ИЛЛ Genura приведены в табл. 2.33, а на рис. 2.20 показаны габаритные размеры этой лампы.

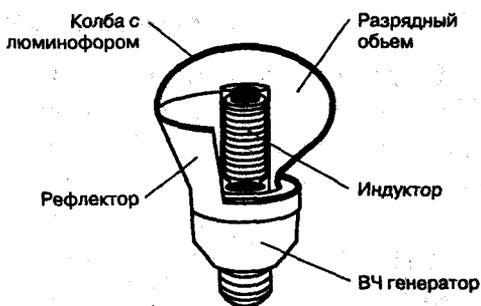


Рис. 2.19. Внутреннее строение лампы Genura

Технические характеристики ИЛЛ Genura

Таблица 2.33

Параметры	Значение
Мощность лампы, Вт	23
Потребляемый ток, А	0,21
Световой поток, лм	1100
Световая отдача, лм/Вт	48
Цветовая температура излучения, К	2700
	3000
Индекс цветопередачи, R_a	82
Минимальная допустимая температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$	-20
Масса лампы, г	200
Цоколь	E27

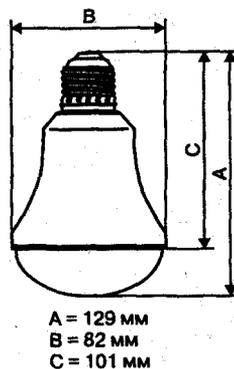


Рис. 2.20. Габаритные размеры ИЛЛ Genura

Компактные ИЛЛ фирмы OSRAM

В конце 1990-х годов фирма OSRAM разработала и освоила выпуск своей оригинальной безэлектродной индукционной люминесцентной лампы, которая получила название ENDURA®.

Конструкция этой лампы отличается тем, что индуктор располагается вне колбы. Колба лампы ENDURA® представляет собой замкнутую трубку, изогнутую в виде скругленного по углам прямоугольника. В коротких участках прямоугольника расположены два индуктора с ферритовыми кольцами. На рис. 2.21 показано строение лампы ENDURA®.

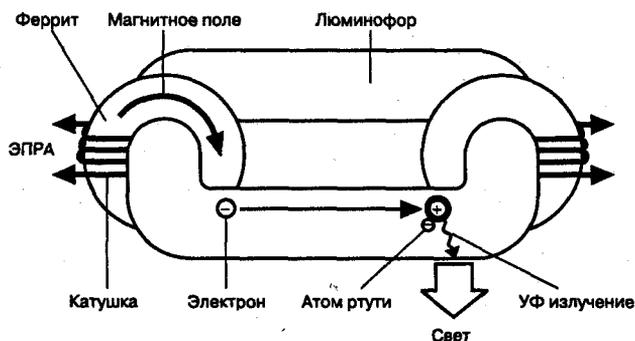


Рис. 2.21. Строение лампы ENDURA®

Такое устройство допускает значительное увеличение мощности и снижение частоты электромагнитных колебаний, возбуждающих разряд в лампах ENDURA®, по сравнению с ИИЛ, в которых индуктор располагается внутри колбы лампы. Частота поступающего тока на индуктор от ВЧ генератора QUICKTRONIC® составляет всего 250 кГц.

Использование стойких узкополосных люминофоров позволило существенно увеличить удельную нагрузку и уменьшить габариты ламп ENDURA®, а использование амальгамы ртути привело к ослаблению зависимости светового потока от температуры. Достигнутые мощности не являются предельными. Однако повышение мощности лампы до 150—200 Вт и выше, по-видимому, ограничено в данной конструкции уровнями электромагнитных излучений, для снижения которых необходимы специальные экраны.

Конструкция лампы ENDURA® удобна для ее использования в плоских светильниках, в которых также размещаются компактные генераторы QUICKTRONIC®, работающие на частоте 250 кГц.

В рекламных проспектах фирмы OSRAM обращается внимание на то, что световой поток ламп ENDURA® сохраняется неизменным в широком интервале температур. Они надежно зажигаются при температуре до -30°C , обеспечивают мгновенное повторное зажигание почти на полной мощности и обладают хорошей коммутационной способностью. Их срок службы составляет 60 тыс. ч и ограничен долговечностью электронных генераторов. Отмеченные особенности ламп ENDURA® позволяют использовать их в экстремальных условиях эксплуатации.

На рис. 2.22 показаны габаритные размеры ламп ENDURA®, в табл. 2.34 приведены их технические характеристики.

Технические характеристики ламп OSRAM ENDURA®

Таблица 2.34

Параметры		ENDURA® 75W	ENDURA® 100W	ENDURA® 150W
Мощность системы ENDURA®, Вт		75	100	150
Световой поток, лм		6500	8000	12000
Световая отдача, лм/Вт		80	80	80
Цветовая температура излучения, К		3000	3000	3000
		4000	4000	4000
Индекс цветопередачи, R _a		более 80	более 80	более 80
Потребляемый ток, А, от сети 220 В		0,4	0,64	0,7
Диапазон рабочих температур окружающего воздуха (в закрытом светильнике), °С		от -25 до +50	от -25 до +50	от -25 до +50
Габаритные размеры (рис. 2.22)	Колбы (1)	L = 313 мм B = 139 мм H = 72 мм	L = 313 мм B = 139 мм H = 72 мм	L = 414 мм B = 139 мм H = 72 мм
	QUICKTRONIC®S-исполнение (2)	L = 181 мм B = 99 мм H = 42 мм		
	QUICKTRONIC®L-исполнение (3)	L = 423 мм B = 40 мм H = 30 мм		

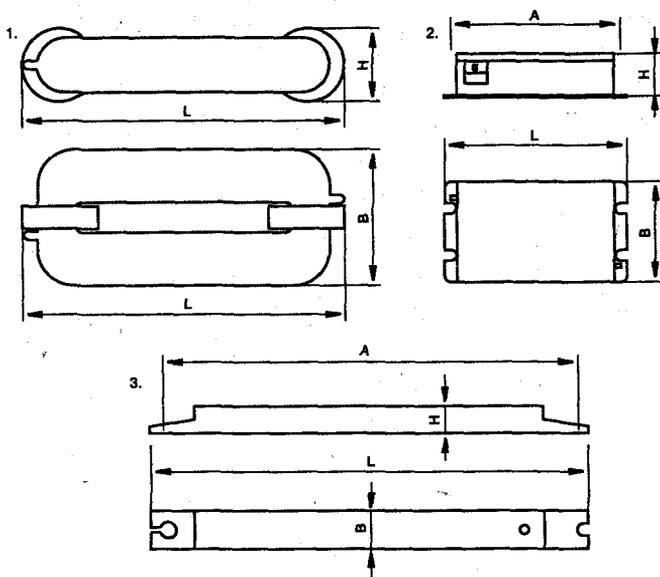


Рис. 2.22. Габаритные размеры (к табл. 2.34)

**Примечание.**

Лампа OSRAM ENDURA® разработана специально для таких областей применения, в которых замена ламп представляет собой очень трудоемкий процесс, например, в наружном освещении, для промышленных цехов с высокими потолками или систем освещения в туннелях.

В области создания светильников с лампами ENDURA® особенно преуспела фирма «Адольф Шух» в г. Вормсе (Германия). Ее специалисты разработали светильники, предназначенные для экстремальных климатических условий в камерах глубокой заморозки, смонтировали в 1998 г. светотехническую систему, состоящую из ста светильников с лампами ENDURA® по 150 Вт, в цехе хлорного газа химического объединения «Buna-Leuna-Olefinverbund» и создали взрывозащищенные светильники (класс f «повышенная безопасность»).

В США и Канаде OSRAM известна под именем SYLVANIA, а безэлектродная ИЛЛ ENDURA® называется ICETRON. Цена комплекта ENDURA® составляет около 150 евро.

Надо отметить, что на сегодняшний день выпуск безэлектродных ИЛЛ активно осваивают фирмы Юго-Восточной Азии. В частности фирма «DIAS Electronic» (Китай) выпускает лампы Century. Фирма Hongyan Lighting из Китая производит целую линейку безэлектродных амальгамных ИЛЛ различной формы с внешним опоясывающим индуктором (аналоги ENDURA). Фирма Tungda Lighting из Гонконга разработала и предлагает 6 типов безэлектродных ИЛЛ по типу QL и Genura.

ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИЕ АППАРАТЫ, ИЛИ КАК ПРАВИЛЬНО ЗАЖЕЧЬ И ПИТАТЬ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ЛАМПЫ

3.1. Электромагнитные ПРА. Принцип работы и недостатки

Что такое балласт?

Для включения разрядных ламп в сеть необходимы специальные устройства, называемые **балластами**. Без балластов может работать очень небольшое число видов ламп, причем, как правило, они непригодны для освещения.



Определение.

***Балласт** — нагрузка, функция которой не связана напрямую с назначением устройства. Балласт представляет собой сопротивление, включенное последовательно с лампой, служащее для сознательного ограничения тока, протекающего через лампу.*

Для работы разрядной лампы к ней всего лишь должно быть приложено напряжение, и через нее должен протекать ток. Лампа представляет собой так называемую **нелинейную нагрузку с убывающей характеристикой**: чем выше напряжение, приложенное к лампе, тем меньше ток через нее, и наоборот.

**Внимание.**

Когда мы включаем лампу напрямую в сеть, ток через нее начинает лавинно нарастать, а напряжение между ее электродами — падать! Фактически такая лампа замыкает сеть накоротко, в результате чего сеть перегрузится, а лампа — погаснет.

Если последовательно с лампой включить сопротивление, сеть окажется замкнутой не накоротко, а на это сопротивление. Перегрузки не произойдет, и схема будет нормально работать.

В роли сопротивления могут выступать разные электротехнические компоненты:

- ♦ на постоянном токе — резисторы;
- ♦ на переменном — резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы.

**Примечание.**

Наиболее удачным балластом для ЛЛ является дроссель, а не резистор или конденсатор. Использовать вместо резистора катушку индуктивности выгодно: она обладает так называемым реактивным сопротивлением, на котором не выделяется ненужное тепло. Применять конденсатор опасно (он не ограничивает начальные импульсы тока ни в сети, ни в ЛЛ).

Промышленное исполнение катушки индуктивности с металлическим сердечником и носит название дросселя. Это самый распространенный вид балласта для разрядных ламп. За счет обязательного наличия в схеме балласта схема включения ЛЛ оказывается относительно сложной по сравнению с обычными лампами накаливания.

**Вывод.**

Для включения в сеть любого газоразрядного устройства, в том числе и ЛЛ, обязательно требуется ограничитель тока, без которого произойдет лавинное нарастание тока в колбе лампы и, возможно, взрыв (!). Если даже этого не случится, лампа все равно будет мгновенно испорчена.

Схема светильника с электромагнитным ПРА

Для сети переменного тока в качестве ограничителя тока подходит обыкновенный дроссель со специальным сердечником. Тип дросселя должен соответствовать типу включаемой лампы, иначе лампа может оказаться перегружена и перегорит намного раньше своего срока.

Наиболее распространенной и простой схемой включения ЛЛ является **стартерная** (с простым индуктивным сопротивлением — дросселем, представлена на рис. 3.1). Элементы LL1, E1, C1, C2 изображенные на этой схеме, образуют пускорегулирующий аппарат (сокращенно ПРА).



Определение.

Пускорегулирующий аппарат — электротехническое устройство, обеспечивающее режимы зажигания и нормальной работы люминесцентной лампы.

Рассмотрим принцип работы схемы. Холодная люминесцентная лампа EL имеет высокое сопротивление между своими электродами. Поэтому при включении напряжение сети, проходя через накальные электроды лампы, целиком падает на ключевом элементе стартера. **Ключевой элемент** — это небольшая неоновая лампочка, имеющая два электрода. Один из электродов жесткий и неподвижный, а другой — биметаллический (могут быть и оба биметаллическими в зависимости от типа стартера), изгибающийся при нагреве и замыкающий цепь в нагретом состоянии. В холодном состоянии он разомкнут.

Поскольку на электродах этого ключа появляется разность электрических потенциалов, газ в колбе стартера ионизируется и разогревает биметаллическую пластинку. В какой-то момент ключ стартера замыка-

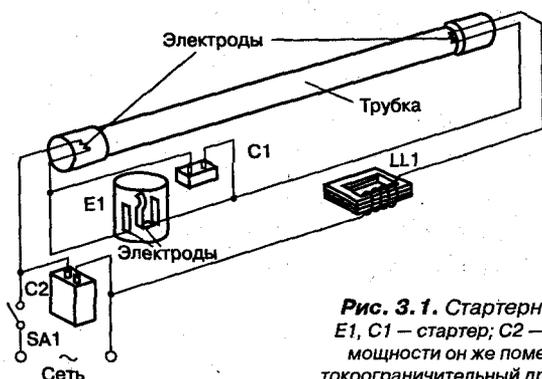


Рис. 3.1. Стартерная схема электромагнитного ПРА: E1, C1 — стартер; C2 — служит для повышения коэффициента мощности он же помехоподавляющий) конденсатор; LL1 — токоограничительный дроссель; SA1 — включатель/выключатель

ется, и появившийся в цепи электрический ток начинает «накачивать» в дроссель L энергию. Энергия накапливается в индуктивном элементе в виде магнитного поля.

Кроме того, ток разогревает электроды люминесцентной лампы. Разогретым электродам присущ эффект термоэлектронной эмиссии, широко использующийся в электронных лампах, кинескопах, вакуумных индикаторах. Итак, в наполняющем баллон лампы газе появляются свободные заряды.

Одновременно с этим, после замыкания ключевого элемента стартера, разряд в нем гаснет, биметаллическая пластина остывает, а ключ размыкается.

После размыкания контактов стартера и разрыва тока дросселя, магнитное поле, спадая, пересекает витки дросселя и наводит в нем ЭДС самоиндукции, величина которой пропорциональна добротности дросселя.

Поэтому в момент размыкания контактов стартера на дросселе появляется высоковольтный импульс, величина которого уже достаточна для поджига лампы. Напряжение этого выброса складывается с мгновенным напряжением сети в момент размыкания стартера. Поэтому на лампе появляется импульс напряжения, представляющий собой сумму индукционного выброса дросселя и мгновенного напряжения сети.

Амплитуда выброса зависит от накопленной энергии, а величина этой энергии пропорциональна току дросселя в момент разрыва контактов стартера. Поэтому высоковольтный выброс может оказаться не достаточным для поджига.

Например, если ток дросселя спадает и достигает нуля, как раз в момент размыкания стартера, то выброса не будет вовсе. С учетом сдвига по фазе между током и напряжением на лампе будет только мгновенное напряжение сети — не более 300 В. Лампа не зажигается, и происходит повторное замыкание стартера и дополнительный прогрев. То есть, произошел фальшстарт (визуально — кратковременная вспышка).



Вывод.

Если при разрыве стартера ток был не нулевым, а накопленной мощности достаточно, чтобы получить высоковольтный выброс, то лампа зажигается.

Зажигание характеризуется резким падением сопротивления газового промежутка люминесцентной лампы. После зажигания стартер оказыва-

ется отключенным, поскольку его сопротивление много больше сопротивления горячей лампы. Дроссель же, являясь индуктивным сопротивлением, поддерживает рабочее напряжение на электродах лампы (ограничивает ток, проходящий через лампу).

Данная схема, как и другие классические электромагнитные пускорегулирующие аппараты, имеют ряд существенных недостатков:

- ♦ вредное и неприятное мерцание 100 Гц, а в приэлектродных областях — 50 Гц, лампа питается переменным напряжением низкой частоты, и в паузах, при переходе сетевого напряжения через ноль, газ успевает деионизироваться, что можно описать как характерное мерцание;
- ♦ наличие громоздкого и шумного дросселя и ненадежного стартера (вышедший из строя стартер вызывает **фальстарт лампы** — несколько вспышек перед стабильным зажиганием, который резко снижает срок службы люминесцентной лампы);
- ♦ повышенный уровень шума и тепловыделения, возникающего при работе дросселя;
- ♦ низкий коэффициент мощности;
- ♦ большая мощность потерь;
- ♦ нестабильность светового потока при колебаниях напряжения сети.



Совет.

Первым шагом по модернизации электромагнитного ПРА и устранения некоторых его недостатков является замена обычного стартера на электронный.

3.2. Электронные стартеры

Достоинства электронных стартеров

Наиболее простым решением повышения надежности работы электромагнитного ПРА является замена обычного биметаллического стартера на электронный.

Электронный стартер конструктивно полностью совместим с обычным биметаллическим стартером (или стартером тлеющего разряда), и поэтому его установка не вызовет затруднений.

По сравнению с обычным стартером электронный имеет ряд преимуществ:

- ♦ надежный поджиг лампы;
- ♦ фиксированное время прогрева лампы, определяемое частотой питающей сети (либо задается программно);
- ♦ увеличенный срок службы благодаря отсутствию механических частей;
- ♦ отсутствие электромагнитных помех;
- ♦ автоматический сброс при перебоях в напряжении питания;
- ♦ широкий диапазон рабочих температур (от -30 до $+85$ °С);
- ♦ защита от перегрузок по току;
- ♦ отключение стартера при старении лампы, что позволяет избежать перегрева балластного устройства.

Разновидности электронных стартеров

Электронные стартеры выпускают многие фирмы. Наиболее известная на нашем рынке — это PHILIPS, которая выпускает электронные стартеры следующих типов:

- ♦ S2-E для ламп мощностью 18—22 Вт;
- ♦ S10-E для ламп мощностью 30—65 Вт (рис. 3.2).

Фирма OSRAM тоже выпускает электронные стартеры под названием DEOS ST 171 и DEOS ST 173:

- ♦ DEOS ST 171 для ламп мощностью 32—58 Вт;
- ♦ DEOS ST 173 для ламп мощностью 15—30 Вт.

Схемотехнически электронный стартер в большинстве случаев содержит два функциональных узла:

- ♦ схему управления;
- ♦ высоковольтный коммутационный узел.

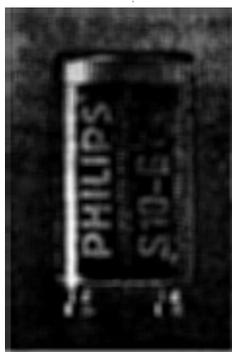


Рис. 3.2.
Внешний вид
электронного
стартера S10-E

Примеры.

Специализированная микросхема электронного стартера UBA2000T (фирмы PHILIPS) и высоковольтный тиристор TN22 (фирмы STMicroelectronics). Либо EFS2A-CD и EFS21-TL5 из набора микросхем EFS STARLIGHT KIT (рис. 3.3) от фирмы STMicroelectronics (<http://www.st.com>).

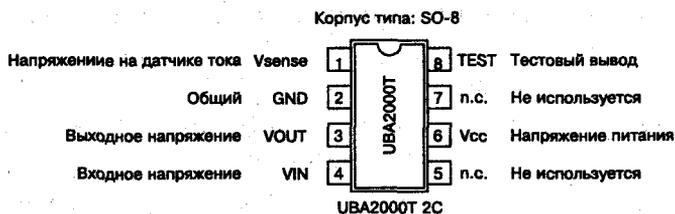


Рис. 3.3. Цоколевка микросхемы UBA2000T

Принцип действия электронного стартера на ИМС UBA2000T

Рассмотрим более подробно электронный стартер, реализованный на специализированной микросхеме фирмы PHILIPS — UBA2000T. UBA2000T представляет собой интегральную схему, используемую в электронных стартерах для люминесцентных ламп, предназначенных для замены обыкновенных биметаллических стартеров.

Микросхема управляет предварительным прогревом электродов лампы и ее поджигом. Время прогрева лампы строго определено путем использования делителя частоты питающей сети. При выходе лампы из строя схема автоматически отключается после семи неудачных попыток поджига, предотвращая таким образом возможность перегрева балластного устройства. В случае возникновения перебоев в напряжении питания схема автоматически сбрасывается в исходное состояние и обеспечивает повторный поджиг лампы.

Микросхема UBA2000T обеспечивает выполнение последовательности действий, необходимых для поджига люминесцентной лампы. Способы включения микросхемы в цепи питания лампы приведены на рис. 3.4, а функциональная блок-схема UBA2000T представлена на рис. 3.5.

Сетевое напряжение выпрямляется и делится при помощи внешних резисторов R1 и R2 до необходимого уровня. При включении питания буферный конденсатор C1 заряжается через резистивный делитель и внутренний ключ S1; напряжение на конденсаторе используется для питания микросхемы.

До тех пор, пока напряжение на буферном конденсаторе V_{CC} не превысит пускового уровня $V_{CC}(rst)$, осуществляется инициализация внутренних цепей микросхемы. Когда напряжение питания V_{CC} достигнет порога запуска $V_{CC}(rst)$, а пиковое значение V_{IN} станет больше V_{IGN} (то есть сетевое напряжение находится вблизи своего пикового значения), происходит открывание внешнего силового ключа. В результате через

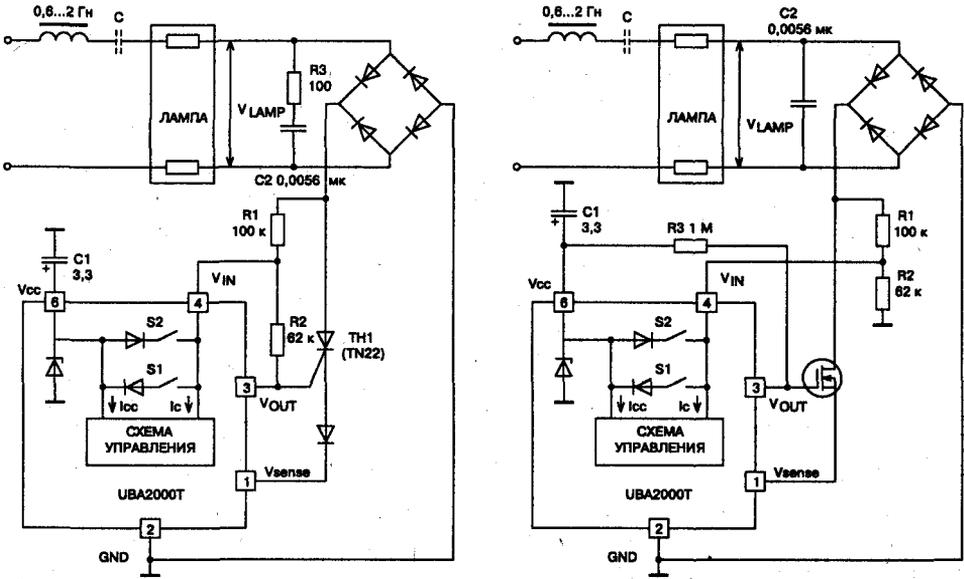


Рис. 3.4. Способы включения микросхемы в цепи питания ЛЛ

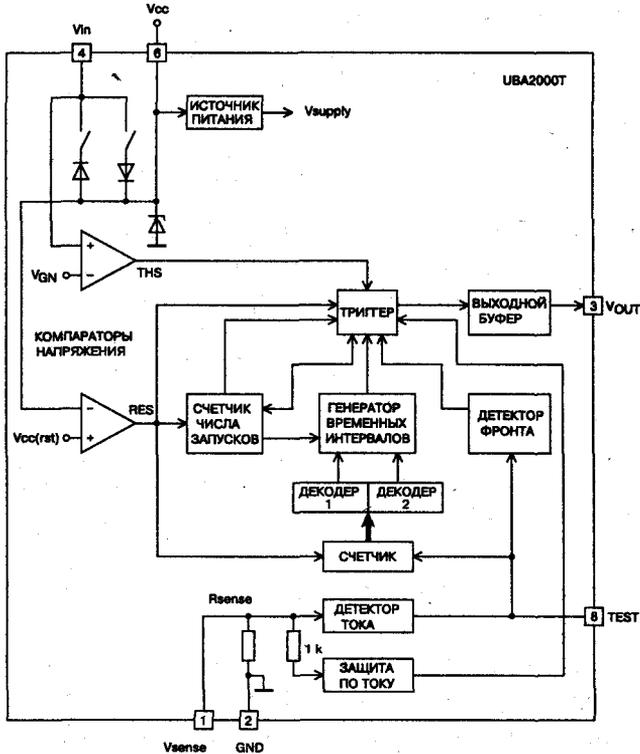


Рис. 3.5. Функциональная блок-схема UBA2000T

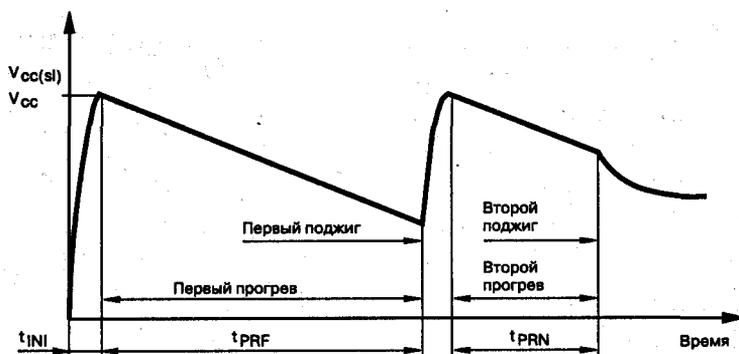


Рис. 3.6. Напряжение на выводе 6 (V_{CC})

электроды лампы, силовой ключ и интегральный датчик тока начинает протекать ток прогрева электродов лампы.

На протяжении всего периода времени, пока замкнут внешний силовой ключ, питание микросхемы осуществляется за счет буферного конденсатора $C1$. Типичная форма напряжения на выводе 6 (V_{CC}) представлена на рис. 3.6.

На протяжении периода прогрева электродов лампы происходит разряд конденсатора. Напряжение с токоизмерительного резистора поступает на компаратор, выходной сигнал которого используется в качестве тактового сигнала для внутреннего счетчика. Этим счетчиком определяется время прогрева электродов лампы, равное 1,52 с при частоте питающей сети 50 Гц. Благодаря использованию счетчика время прогрева выдерживается очень точно, так как зависит только от частоты питающей сети.

После предварительного прогрева электродов лампы внешний силовой ключ размыкается в момент времени, когда напряжение на токоизмерительном резисторе соответствует протекающему току не менее 285 мА. В результате прерывания тока в цепи, содержащей индуктивную нагрузку, происходит генерация высоковольтного импульса, который осуществляет поджиг люминесцентной лампы.

После успешного поджига лампы напряжение на ней становится значительно ниже сетевого. В результате напряжение питания микросхемы не превышает порогового уровня, необходимого для ее работы. На рис. 3.6 приведена форма напряжения питания микросхемы при поджиге лампы после второй попытки.

Во время прогрева электродов лампы питание микросхемы осуществляется за счет энергии, запасенной в буферном конденсаторе, и напря-

жение питания постепенно снижается. Если после подачи высоковольтного импульса не произошло поджига лампы, то внешний силовой ключ остается закрытым, и напряжение на буферном конденсаторе снова повышается выше стартового уровня. Внешний силовой ключ снова замыкается, и начинается следующий цикл прогрева и поджига лампы. При всех последующих попытках поджига, кроме первой, время прогрева уменьшено до 0,64 с, поскольку электроды лампы еще не остыли после предыдущих неудачных попыток поджига. Внутренний счетчик ограничивает число неудачных попыток поджига до 7. Это предотвращает мигание лампы в конце срока ее службы.

Микросхема UBA2000T содержит встроенные цепи защиты по току. Когда ток через резистор датчика превышает порог защиты (I_{PROT}), силовой ключ закрывается, и микросхема переходит в режим покоя. Выключение и повторное включение напряжения питания приводят к сбросу цепей защиты. Диаграмма состояний микросхемы в процессе поджига лампы приведена на рис. 3.7.

Источник питания. При подаче напряжения питания на микросхему происходит заряд буферной емкости и разрешается работа внутреннего источника тока. Внутреннее напряжение питания микросхемы стабилизировано и не зависит от напряжения на буферном конденсаторе. Встроенный стабилитрон ограничивает напряжение на выводе 6 (V_{CC}) на уровне $V_{\text{CC}}(sl)$.

Компараторы напряжения. Компараторы отслеживают напряжение на буферном конденсаторе и разрешают работу внутренних цепей микросхемы при достижении напряжением питания стартового уровня — $V_{\text{CC}}(sl)$. Для первоначальной зарядки конденсатора требуется некоторый период времени t_{INI} (см. рис. 3.6). Это время зависит от номинала конденсатора $C1$, тока потребления микросхемы и сопротивления внешнего делителя на входе $V_{\text{IN}}(R1 || R2)$. После заряда конденсатора $C1$ и при условии, что сетевое напряжение находится вблизи своего максимального значения, генерируется импульс тока, открывающий внешний силовой ключ.

В случае если напряжение питания падает до уровня, указывающего на отсутствие сетевого напряжения, внутренние цепи микросхемы сбрасываются, и она становится готова для осуществления прогрева и пуска лампы при повторном включении сетевого напряжения.

Триггер. Состояние внутреннего триггера отражает состояние внешнего силового ключа. Процесс установки триггера определяется состоянием компараторов напряжения, счетчика числа поджигов и режимом

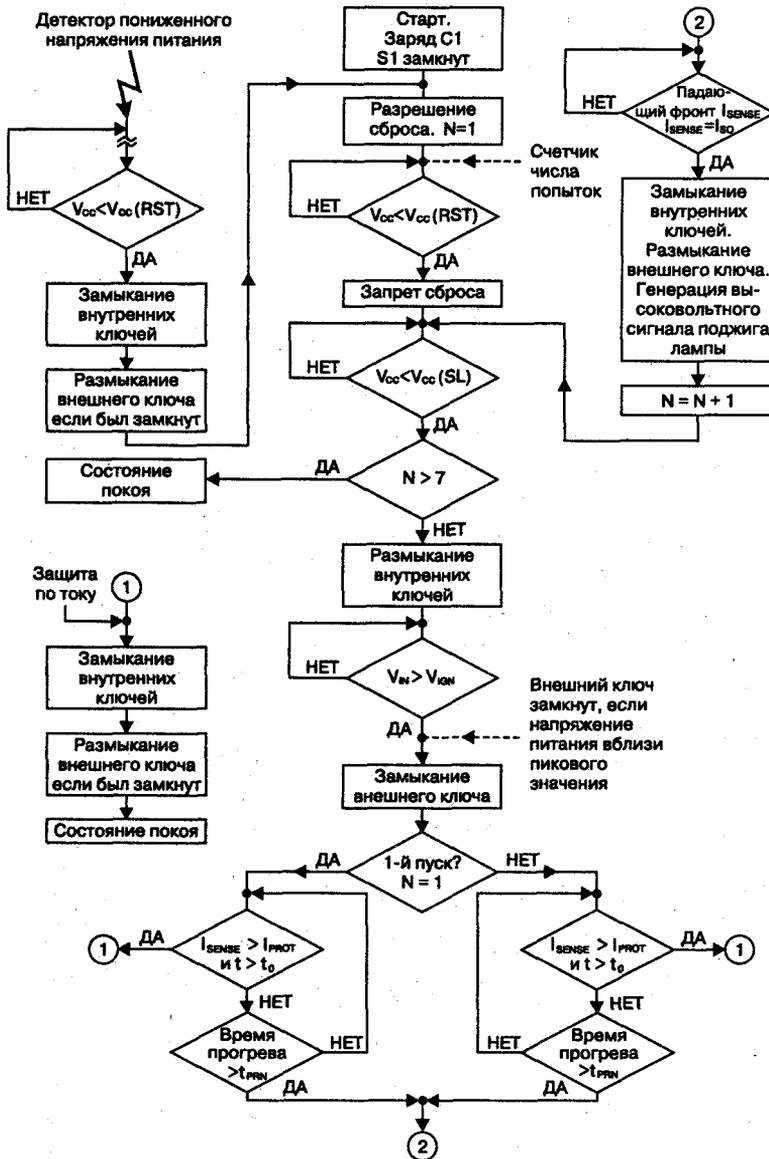


Рис. 3.7. Диаграмма состояний микросхемы UBA2000T в процессе поджига лампы

покоя микросхемы. Сброс триггера управляется таймером, датчиком тока и цепями защиты по току.

Датчик тока. Датчик тока управляет моментом выключения силового ключа и осуществляет генерацию тактовых импульсов для управления внутренними счетчиками микросхемы (рис. 3.8).

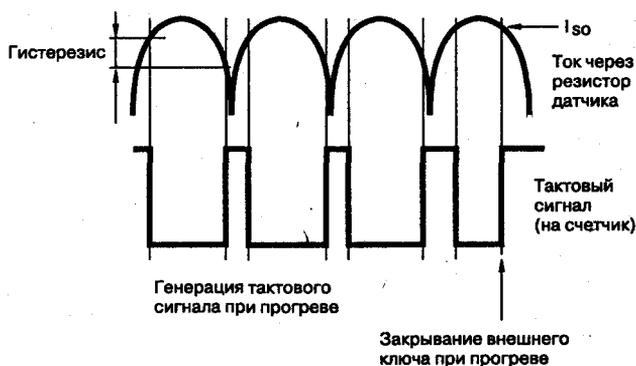


Рис. 3.8. Генерация тактовых импульсов

Для правильной работы ток прогрева электродов лампы должен находиться в пределах допустимого диапазона I_{PR} . Благодаря некоторому гистерезису отдельные пики тока прогрева электродов не оказывают влияния на состояние счетчика. Кроме того, цепи датчика тока осуществляют дополнительную низкочастотную фильтрацию сигнала, устраняющую влияние коротких импульсов тока на время прогрева электродов лампы.

Датчик фронта. Датчик фронта обеспечивает закрывание внешнего силового ключа на падающем фронте выпрямленного тока прогрева.

Счетчик. При подаче на счетчик тактового сигнала с удвоенной частотой питающей сети счетчик задает длительность первого прогрева электродов лампы и, если необходимо, длительность последующих шести прогревов.

Схема управления временем прогрева. В зависимости от состояния счетчика числа запусков выбирается большое ($t_{PRF} = 1,25$ с) или малое ($t_{PRN} = 0,64$ с) время прогрева.

Счетчик числа запусков. Число запусков подсчитывается отдельным счетчиком. После семи неудачных попыток запуска микросхема переводится в состояние покоя. В состоянии покоя потребляемый ток увеличивается, благодаря чему буферный конденсатор быстро разряжается при отключении стартера от источника питания. Это обеспечивает автоматический сброс стартера при «горячей» замене неисправной лампы.

Цепи защиты по току. Если ток через измерительный резистор превышает пороговое значение I_{PROT} , внешний силовой ключ закрывается. На протяжении нескольких первых периодов открытого состояния силового ключа (времени блокировки t_D) работа цепей защиты по току запрещается. Благодаря этому переходные процессы при открывании

ключа не приводят к срабатыванию цепей токовой защиты. В случае превышения током порогового значения происходит отключение силового ключа, и микросхема переводится в состояние покоя, предотвращая последующее открывание ключа. Из этого состояния микросхема может быть выведена только путем отключения напряжения питания.

Выходной буфер. Выходной буфер предназначен для управления внешним тиристором с малым входным током либо мощным полевым транзистором. В процессе включения микросхемы на ее выходе поддерживается низкий уровень, предотвращающий открывание силового ключа.

Силовой ключ на тиристоре. Как уже упоминалось, UBA2000T может работать совместно с высоковольтным тиристором TN22 (рис. 3.9). Он представляет собой высококачественный несимметричный тиристор, изготовленный по высоковольтной p-n-p-n диффузионной планарной технологии. Производитель — фирма STMicroelectronics (www.st.com). Тиристор выпускается в пластмассовых корпусах IPAK (TO-251), DPAK (TO-252) и предназначен для использования в электронных пусковых устройствах люминесцентных ламп.

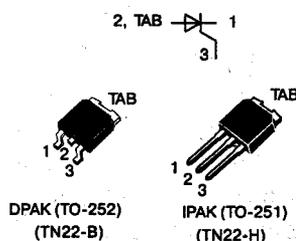


Рис. 3.9. Схема и внешний вид тиристора TN22

Основные технические характеристики тиристора TN22:

- ♦ напряжение лавинного пробоя V_{BR} — 1200—1500 В;
- ♦ ток удержания в открытом состоянии I_H , не менее — 175 мА;
- ♦ управляющий ток I_{GT} , не более — 1,5 мА.

Максимальные значения параметров и режимов TN22:

- ♦ повторяющееся значение напряжения в закрытом состоянии (при температуре кристалла $T_j = 110\text{ °C}$) V_{DRM} — 400 В;
- ♦ среднеквадратичное значение тока открытого тиристора (при угле проводимости 180° и температуре корпуса $T_C = 95\text{ °C}$) I_T (rms) — 2 А;
- ♦ среднее значение тока открытого тиристора (при угле проводимости 180° и температуре корпуса $T_C = 95\text{ °C}$) I_T (av) — 1,8 А;
- ♦ неповторяющееся пиковое значение тока открытого тиристора (при начальной температуре перехода $T_j = 25\text{ °C}$):
 - при $t_p = 8,3\text{ мс}$ — 22 А;
 - при $t_p = 10\text{ мс}$ — 20 А;
 - предельное значение $I2t$ при $t_p = 10\text{ мс}$ — 2 А \cdot с;
 - критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии (при $I_G = 5\text{ мА}$ и $dI_G/dt = 70\text{ мА/мкс}$) — 50 А/мкс;

- рабочая температура кристалла T_j — $-40...+110$ °С;
- температура хранения T_{STG} — $-40...+150$ °С.

Типичный пример использования микросхемы совместно с тиристором с малым входным током (типа TN22), используемым в качестве внешнего силового ключа, приведен на рис. 3.4, а. При этом резистивный делитель входного напряжения подключается не к общему проводу, а к управляющему электроду внешнего ключа. Поскольку напряжение на управляющем электроде ключа мало, это не приводит к заметному изменению коэффициента деления.

Выходной буферный усилитель осуществляет генерацию импульса тока, необходимого для открывания внешнего ключа TN1. Этот импульс тока синхронизирован с напряжением на выводе 4 (V_{IN}). Силовой ключ открывается, когда напряжение V_{IN} достигнет уровня V_{IGN} . При этом ток через делитель R1 и R2 является составной частью тока, необходимого для открывания ключа. Если необходимо, то импульс тока повторяется каждые полпериода сетевого напряжения. Когда требуется закрыть внешний ключ, выходной буфер способен обеспечить большой втекающий ток, необходимый для надежного закрывания ключа.

Иногда бывает необходимо ограничить импульсный ток, протекающий при открывании ключа за счет разряда помехоподавляющего конденсатора C2. Для этого последовательно с конденсатором может быть включен резистор R3.

Силовой ключ на полевом транзисторе. Типовая схема использования микросхемы UBA2000T совместно с силовым ключом на полевом транзисторе приведена на рис. 3.4, б. В этом случае резистивный делитель подключается к общему проводу. Выходной буфер микросхемы работает аналогично предыдущему случаю. Импульс выходного тока заряжает затвор полевого транзистора. В результате транзистор открывается.

Для удержания транзистора в проводящем состоянии используется высокоомный резистор, включенный между затвором транзистора и буферным конденсатором C1. Необходимость этого резистора вызвана тем, что выходной ток носит импульсный, а не непрерывный характер. Необходимо отметить, что использование резистора приводит к увеличению тока разряда буферной емкости C1.

Внутренний стабилитрон ограничивает напряжение на выходе микросхемы, а, следовательно, и на затворе полевого транзистора на уровне приблизительно 6,8 В.

Обе схемы применения требуют использования силового ключа с напряжением пробоя $V_{(BR)AC}$ или $V_{(BR)DS}$, превышающим напряжение поджига люминесцентной лампы.

В табл. 3.1 приведены предельные значения параметров микросхемы UBA2000T.

Предельные значения параметров микросхемы UBA2000T

Таблица 3.1

Символ	Параметр	Условия	Значение		Единица измерения
			не менее	не более	
V_{out}	Выходное напряжение	См. примеч. 1	—	6	В
V_{in}	Входное напряжение	См. примеч. 2	—	125	В
V_{test}	Напряжение на тестовом выводе	—	—	6	В
I_{SENSE}	Ток через резистор датчика тока	См. примеч. 3	—	6	А
P_{TOT}	Суммарная мощность рассеяния	—	—	395	мВт
T_{STG}	Температура хранения	—	-55	150	°C
T_{AMB}	Рабочая температура окружающей среды	—	-40	85	°C

Примечания к таблице.

1. Вывод подключен к внутреннему стабилитрону с напряжением пробоя около 6,8 В.
2. Вывод подключен к внутреннему стабилитрону с напряжением пробоя 130—230 В. Ток через вывод должен быть ограничен на уровне 10 мА.
3. Импульсное значение при длительности импульса 2 мс.

Принцип действия электронного стартера на ИМС EFS STARLIGHT KIT

Набор микросхем EFS STARLIGHT KIT фирмы STMicroelectronics (www.st.com) по своим функциональным возможностям и принципу работы схож с рассмотренной ранее UBA2000T.

Разработчики из STMicroelectronics разделили электронный стартер следующим образом:

- ♦ в микросхеме EFS2A-CD разместили все функциональные низковольтные узлы (генератор, детектор, счетчик, компаратор);
- ♦ в микросхеме EFS21-TL5 — все силовые высоковольтные узлы (выходной буфер, высоковольтный коммутатор с цепочкой защиты) и источник питания для низковольтной EFS2A-CD.

Назначение выводов и типовая схема включения представлены на рис. 3.10 и рис. 3.11, соответственно.

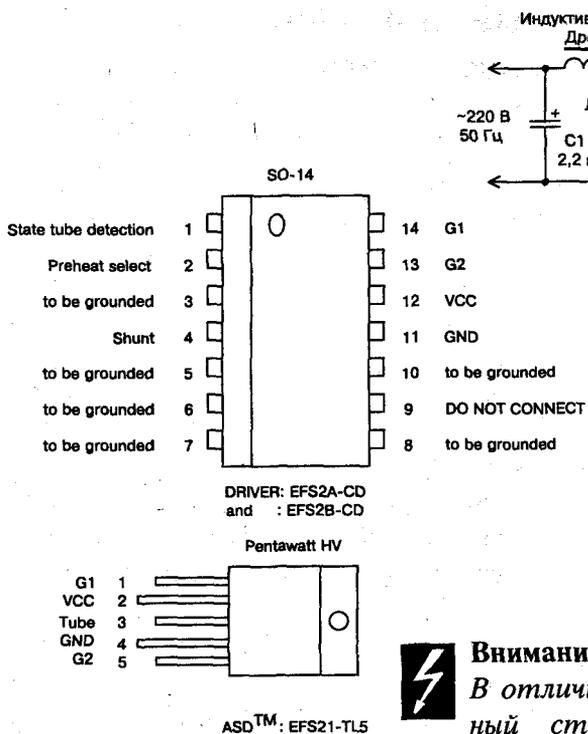


Рис. 3.10. Назначение выводов микросхем EFS2A-CD и EFS21-TL5

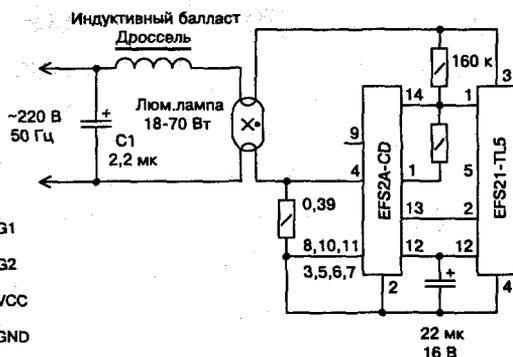


Рис. 3.11. Типовая схема включения EFS2A-CD и EFS21-TL5



Внимание.

В отличие от UBA2000T электронный стартер, реализованный на EFS2A-CD и EFS21-TL5, работает только с индуктивным балластом.

В зависимости от использования микросхемы EFS2A-CD или EFS2B-CD будут доступны следующие интервалы прогрева электродов ЛЛ:

- ♦ для EFS2A-CD: если вывод 2 микросхемы на земле — 1,5 с, если на V_{CC} — 2,65 с;
- ♦ для EFS2B-CD: если вывод 2 микросхемы на земле — 0,74 с, если на V_{CC} — 1,24 с.



Вывод.

Электронный стартер, являясь составной частью электромагнитного ПРА, позволяет улучшить и облегчить процесс поджига ЛЛ, но решить все проблемы с питанием ЛЛ возможно только с помощью электронного высокочастотного ПРА.

3.3. Электронный ПРА — балласт, спасающий лампы

3.3.1. Знакомство с принципом построения, работой и элементной базой электронных балластов

Преимущества электронных ПРА

Электромагнитный ПРА (дроссель-стартер) имеет массу недостатков: надоедливое жужжание, произвольные вспышки и частое мерцание, исходящие от светильников использующих ЛЛ.

Основным и единственным его преимуществом является его дешевизна. Но за низкой ценой дросселя и стартера скрываются высокие эксплуатационные расходы и масса неприятных факторов, влияющих на здоровье людей.

Директивой Европейской комиссии №2000/55/ЕС предписан запрет на продажу и применение электромагнитных ПРА с целью ускорения повсеместного внедрения ЭПРА (электронных балластов) в странах Евросоюза. В США от использования электромагнитных балластов отказались еще раньше.

Директива комиссии ЕС о запрещении использования электромагнитных ПРА, возможно с некоторой задержкой, но неизбежно окажет влияние на принятие аналогичных решений и в России. Отрадным выглядит опыт Белоруссии. Там уже разработаны и сегодня действуют новые СНиПы, запрещающие устанавливать ПРА (стартеры и дроссели) в дошкольных и школьных учреждениях, учебных заведениях и больницах, а также на предприятиях, где требуется качественное освещение.

Бурное развитие электронной промышленности позволило создать электронный ПРА, обеспечивший совершенно новое качество работы люминесцентных ламп и светильников.

Широкое использование электронных ПРА (они же ЭПРА, они же электронные балласты) связано с рядом их существенных преимуществ по сравнению с электромагнитными ПРА. Разделим их на четыре группы.

Группа 1 — влияние на здоровье:

- ♦ приятный немерцающий свет без стробоскопических эффектов и отсутствие шума благодаря работе в диапазоне 30—100 кГц;
- ♦ слабое электромагнитное поле.

Группа 2 — комфортность:

- ♦ надежное и быстрое (без мигания) зажигание ламп;
- ♦ стабильность освещения независимо от колебаний сетевого напряжения;
- ♦ возможность регулировки светового потока;
- ♦ отключение по истечении срока службы лампы.

Группа 3 — экономичность:

- ♦ высокое качество потребляемой электроэнергии — близкий к единице коэффициент мощности благодаря потреблению синусоидального тока с нулевым фазовым сдвигом (при использовании активного корректора мощности);
- ♦ уменьшенное на 20 % энергопотребление (при сохранении светового потока) за счет повышения светоотдачи лампы на повышенной частоте и более высокий КПД ЭПРА по сравнению с классическими электромагнитным ПРА;
- ♦ увеличенный на 50 % срок службы ламп благодаря щадящему режиму работы и пуска;
- ♦ снижение эксплуатационных расходов за счет сокращения числа заменяемых ламп и отсутствия необходимости замены стартеров;
- ♦ дополнительное энергосбережение до 70 % при работе в системах управления светом.

Группа 4 — экологичность:

- ♦ меньшее количество отходов ламп (на 30 %) за счет увеличения срока службы ЛЛ.

Основные направления развития ПРА

В настоящее время ассортимент ЭПРА насчитывает десятки типоразмеров, отличающихся количеством и мощностью используемых с ними ламп, наличием или отсутствием возможности регулирования светового потока, характером включения ламп (с предварительным прогревом электродов или без него), наличием функции защиты аппарата и электросети от возможных аварийных ситуаций. При всем кажущемся многообразии схемные решения современных ЭПРА ведущих мировых производителей, в принципе, одинаковы (рис. 3.12).

Одной из ведущих компаний в разработке и производстве контроллеров для управляющего каскада остается Int. Rectifier, США [<http://www.irf.com>]. Однако последнее время серьезную конкуренцию им оказывают компании THOMSON и PHILIPS.

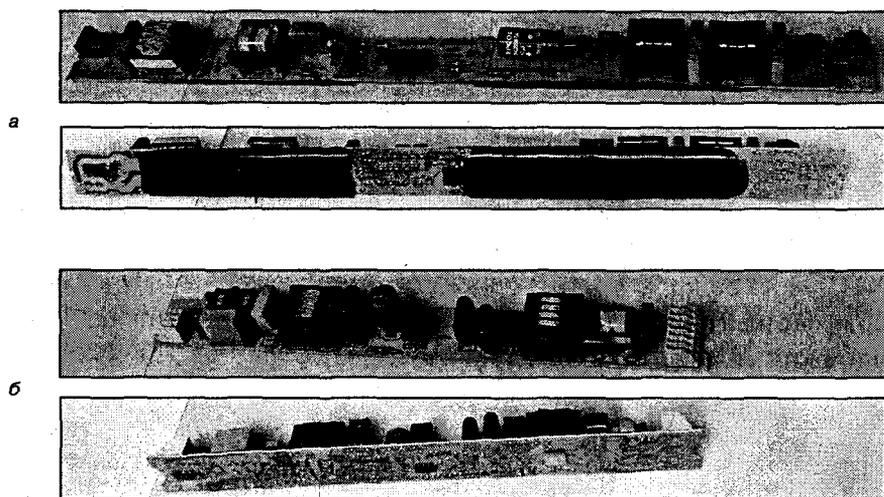


Рис. 3.12. Внешний вид электронных балластов, работающих на две ЛЛ по 36 Вт:
а — производства фирмы OSRAM; б — производства фирмы PHILIPS

OSRAM и TRIDONIC для уменьшения номенклатуры изделий приступили к выпуску унифицированных ЭПРА, предназначенных не для одного типа ламп, а для всей серии ламп различной мощности. Аппараты Quicktronic-Multiwatt от OSRAM могут работать с люминесцентными лампами 17 типоразмеров мощностью от 18 до 64 Вт и позволяют создавать более 100 комбинаций из линейных, компактных или кольцевых ламп. Но эти ЭПРА не обеспечивают плавное регулирование мощности ламп.

Серьезные разработки ведутся на пути создания систем управления освещенности, которые действительно решают задачи повышения комфортности и экономии электроэнергии. Австрийская компания TRIDONIC продвигает на рынок так называемые управляемые ЭПРА, позволяющие управлять мощностью светового потока. К примеру, аппараты серии EXCEL позволяют управлять мощностью ламп любым из четырех способов: простым кнопочным включением, с помощью датчика освещенности, цифровых сигналов стандарта DSI и цифрового сигнала стандарта DALI.

Использование ЭПРА с датчиками освещенности, присутствия и времени позволяет сэкономить до 70 % электроэнергии, расходуемой на освещение. Учитывая, что доля люминесцентных светильников административных помещений составляет до 50 % от общего энергопотребления в этих помещениях, внедрение систем управления освещением

позволяет сэкономить десятки киловатт-часов в год. На текущий момент эти системы весьма дороги и широкого применения не находят.

Электрические параметры ЭПРА

Электрические параметры ЭПРА различных фирм практически одинаковы:

- ♦ КПД — от 80 до 90 %;
- ♦ коэффициент мощности — не ниже 0,98;
- ♦ широкий диапазон напряжений питания.

Отечественные электронные ПРА

В линейке ЭПРА имеются аппараты с холодным пуском (не более пяти включений в день) и с предварительным прогревом электродов (с неограниченным включением в день).

Относительно производства ЭПРА в России следует заметить, что хорошие схемные решения время от времени предлагали компании «Элекс-Электро» (г. Александров), «Трансвит» (г. Великий Новгород), «Ситэл» (г. Москва), «Орбита» (г. Саранск) и др.

Однако на сегодняшний день пока ни одной из российских компаний не удалось наладить стабильное производство качественного и конкурентоспособного продукта. Причины этого кроются в отсутствии финансирования, низкой квалификации рабочего персонала, а также в неспособности создания процесса производства в целом. Заслуживает внимания, пожалуй, только одна компания — ОАО «ЭНЭФ» <http://www.enef.by> (Беларусь). Ее ассортиментная линейка состоит из 117 видов ЭПРА (включая ЭПРА для ламп T5 и регулируемые балласты).

Несомненно, ведущие западные компании-производители ЭПРА, хорошо понимая перспективы российского рынка, предлагают широкий выбор этих изделий. Уже несколько лет назад отметились своим присутствием в нашей стране компании OSRAM, HELVAR, TRIDONIC, VOSLOH SCHWABE, PHILIPS и др.

Сегодня ни у кого не вызывает сомнения, что в ближайшие 3—5 лет ЭПРА полностью вытеснят с рынка неэкономичные и вредные для здоровья электромагнитные балласты. Кстати, многие, кто умеет считать деньги и ценят свое здоровье и здоровье других, уже давно поменяли в используемых светильниках стартеры и дроссели на современные ЭПРА.

Структурная схема электронного балласта

Рассмотрим принцип работы простого электронного балласта на примере микросхемы IR2153. На структурной схеме электронного балласта (рис. 3.13) точка «А» подключается с помощью ключей Кл1 и Кл2 то к напряжению питания ($U_{\text{п}} = +310 \text{ В}$), то к общему проводу. Ключи, перезаряжая конденсатор, образуют переносное напряжение. В результате в точке «А» возникают однополярные высокочастотные импульсы напряжения (частота коммутации обычно находится в пределах 30—100 кГц), которые, во-первых, зажигают лампу, а, во-вторых, не дают газу деионизироваться (отсутствие мерцания).



Рис. 3.13. Структурная схема электронного балласта



Примечание.

При таком методе пуска и управления полностью исключен фальстарт, поскольку лампа гарантированно коммутируется на постоянное напряжение, провалы которого принципиально отсутствуют. Сокращаются размеры индуктивного элемента. Регулировкой скважности (или фазы) импульсов коммутации можно добиться изменения яркости свечения.

Как зажечь лампу

Чтобы зажечь лампу, нужно разогреть ее электроды. Поскольку в схеме электронного балласта отсутствует стартер, необходимо каким-то образом первоначально замкнуть силовую цепь, чтобы протекающий ток разогрел электроды, а затем схему пуска отключить.

В лампах небольшой мощности (единицы ватт) первоначальное замыкание цепи можно осуществить при помощи конденсатора С. Однако этот путь достаточно противоречив, поскольку для разогрева желательно иметь как можно большее значение емкости, в то время как для возникновения хорошего резонансного эффекта выбирать эту емкость слишком большой нельзя.

Разработчики поступили следующим образом. Они включили параллельно конденсатору термистор с положительным температурным коэффициентом РТС — позистор. В холодном состоянии сопротивление позистора мало, и ток разогревает электроды лампы. Вместе с электродами разогревается и позистор.

При определенной температуре сопротивление позистора резко повышается, цепь разрывается, и индуктивный выброс зажигает лампу. Позистор шунтируется низким сопротивлением горячей лампы. Использование позистора позволяет лампе зажигаться плавно и снижает износ электродов, что продлевает срок службы лампы до 20 тыс. ч.

Существует также метод предварительного прогрева катодов (более прогрессивный), заключающийся в том, что при прогреве частота драйвера выше резонансной частоты питания лампы. В результате лампа сначала прогревается и только после того, как частота драйвера снижается до резонансной, — поджигается.

Микросхемы управления балластами

Наиболее дешевые (китайско-польские) электронные балласты работают в автогенераторном режиме и собираются из дискретных элементов. Отсюда наличие нескольких сложных намоточных элементов — трансформаторов, большие габариты печатных плат, низкая надежность, сложность настройки.

Ведущие фирмы-разработчики выпускают довольно широкий перечень микросхем управления балластами. Существуют как микросхемы, требующие наличия внешних силовых транзисторов, так и модификации, в которых силовые ключи интегрированы в один корпус со схемой управления. Такие балласты довольно миниатюрны.

Совсем недавно появилось новое поколение микросхем управления электронными балластами, обладающее многими сервисными и защитными функциями. К сожалению, отечественные разработки микросхем управления электронными балластами находятся в зачаточном состоянии; поэтому приходится рассказывать лишь о том, как преуспели на этом рынке зарубежные фирмы-производители силовой электроники.

Фирма International Rectifier (<http://www.irf.com>) производит микросхемы IR2156, IR2157, IR2159, IR2166, IR2167, IR2520, требующие внешних силовых транзисторов, и микросхемы IR5xHxx с интегрированными силовыми ключами.

Фирма STMicroelectronics (<http://www.st.com>) производит микросхемы L6569, L6571, L6574.

Фирма Motorola — MC2151, MPIC2151, MC33157DW.

Фирма Unitrode (Texas Instruments) — UC3871, UC3872.

Фирма PHILIPS — UBA2014, UBA2021, UBA2024.

Микросхемы имеют в своем составе:

- ♦ цепь управления затвором верхнего ключевого транзистора с вольтодобавкой;
- ♦ схему защиты от сквозных токов (защитная пауза 1,2 мкс);
- ♦ узлы стабилизации внутреннего питания;
- ♦ схему защиты от пониженного напряжения сети.

Кроме того, новое поколение микросхем MC33157DW, L6574, UBA2021, UBA2024, IR2157, IR2159, IR2166, IR2167, IR2520 реализует:

- ♦ возможность установки времени прогрева накальных электродов;
- ♦ возможность установки скорости зажигания лампы за счет введения плавающей задающей частоты;
- ♦ возможность установки задержки включения силовых ключей;
- ♦ дополнительную защиту от незажигания лампы и включение защитного режима в момент ее отказа;
- ♦ защиту при перегорании накальных электродов и контроль наличия вставленной лампы;
- ♦ защиту от зажигания на частоте ниже резонансной;
- ♦ защиту от падения сетевого напряжения;
- ♦ автоматический перезапуск при кратковременном пропадании сетевого напряжения;
- ♦ защиту от перегрева кристалла.

Добавлю, что микросхема IR2159 является диммером — умеет регулировать яркость лампы (фазовый метод регулировки).

Микросхемы IR2166, IR2167 имеют встроенный корректор коэффициента мощности.

Программы для проектирования электронных балластов

Для упрощения и ускорения проектирования новых поколений электронных балластов (IR2156, IR2157, IR2159, IR2166, IR2167) к лампам разной мощности и типов разработаны как детальные рекомендации Reference Designs (<http://www.irf.com/forms/eltdk.html>), так и ПО САПР IRPLBDA4 (International Rectifier Lighting Ballast Design Software v.3), обеспечивающее почти полную автоматизацию проектирования вплоть

до перечня элементов схемы. САПР сегодня поддерживает 36 типов ламп и 7 различных конфигураций балласта, а также дает возможность добавлять новые. Более чем 20 параметров, включая частоту, напряжение, ток и номиналы компонентов, выбираются пользователем. О проектировании с помощью этой программы будет рассказано ниже.

3.3.2. Простой электронный балласт на IR2153

Рассмотрим простую схему электронного балласта на микросхеме IR2153 (IR2151), представленную на рис. 3.14. Основные параметры IR2153 таковы:

- ♦ максимальное напряжение на выводе V_B относительно общего провода — 600 В;
- ♦ напряжение питания (V_{CC}) — 15 В;
- ♦ ток потребления (I_{CC}) — 5 мА;
- ♦ максимальный ток управления I_O — +100 мА / -210 мА;
- ♦ время включения (t_{on}) — 80 нс;
- ♦ время выключения (t_{off}) — 40 нс;
- ♦ пауза коммутации (задержка) — 1,2 мкс.

Принципиальная электрическая схема электронного балласта, выполненного на основе IR2153, изображена на рис. 3.15.

IR2153 — это драйвер мощных полевых транзисторов с изолированным затвором (MOSFET), с внутренним генератором. Он представляет собой точную копию генератора, использующегося в таймере серии 555,

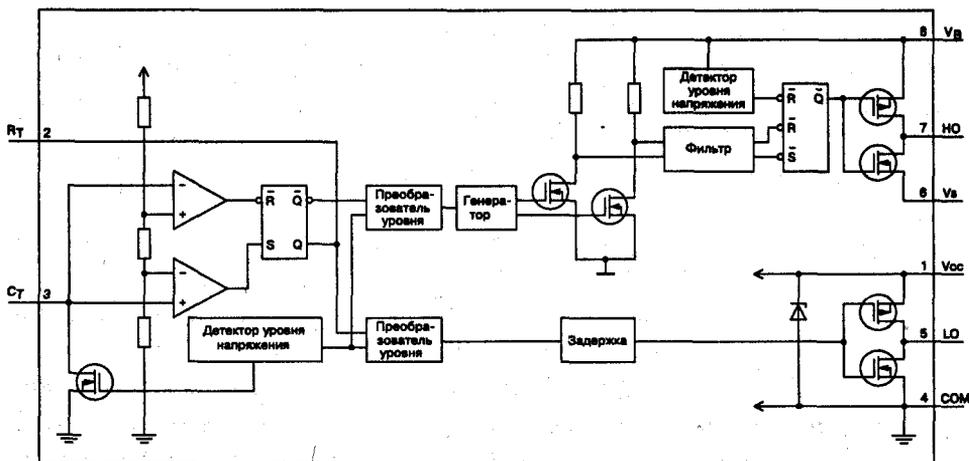


Рис. 3.14. Структурная схема ИМС IR2153

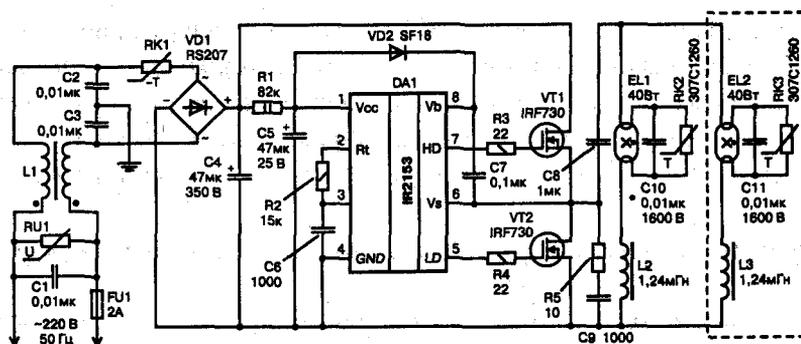


Рис. 3.15. Принципиальная схема электронного балласта, выполненного на основе IR2153

отечественный аналог — КР1006ВИ1. Работает непосредственно от шины постоянного напряжения через гасящий резистор R1.

Внутренняя стабилизация напряжения предотвращает превышение напряжения V_{CC} выше 15,6 В. Блокировка по пониженному напряжению блокирует оба выхода управления затворами VT1 и VT2, когда напряжение V_{CC} ниже 9 В.

DA1 имеет два управляющих выхода:

- нижний 5 для управления VT2;
- верхний 7 выход для управления VT1, «плавающий», т. к. формирователь импульсов управления полевым транзистором VT1 питается от плавающего источника питания, который образуют элементы VD2, C7).

При управлении силовыми ключами (VT1, VT2) микросхема IR2151 обеспечивает задержку коммутации продолжительностью 1,2 мкс для предотвращения ситуации, когда транзисторы VT1 и VT2 одновременно открыты и через них протекает сквозной ток, который моментально выводит оба транзистора из строя.



Примечание.

Данный балласт рассчитан на питание одной или двух ламп мощностью 40 (36) Вт (ток лампы — 0,43 А) от сети переменного тока 220 В 50 Гц. При использовании двух ламп по 40 Вт необходимо добавить элементы, выделенные пунктиром (EL2, L3, C11, RK3). Следует заметить, что для устойчивой работы номиналы элементов в параллельных ветвях должны быть равными ($L3, C11 = L2, C10$), а длина проводов, подводимых к лампам, — одинаковой.

**Совет.**

При работе одного драйвера на две лампы предпочтительнее использовать частотный прогрев электродов (без позисторов). Об этом способе будет рассказано ниже (при описании ЭПРА на микросхеме IR53HD420).

При использовании ламп другой мощности (18—30 Вт) следует изменить номиналы $L2 = 1,8—1,5$ мГн (соответственно); при использовании ламп мощностью 60—80 Вт — $L2 = 1—0,85$ мГн, а $R2$ — из условия выполнения $F_r \approx F_6$ (формулы расчета этих частот приведены ниже).

Напряжение сети 220 В поступает на сетевой фильтр (фильтр электромагнитной совместимости), образованный элементами $C1, L1, C2, C3$. Необходимость его применения вызвана тем, что ключевые преобразователи являются источниками электромагнитных радиочастотных помех, которые сетевые провода излучают в окружающее пространство как антенны.

Действующие российские и зарубежные стандарты нормируют уровни радиопомех, создаваемых этими устройствами. Хорошие результаты дают двухзвенные LC-фильтры и экранировка всей конструкции.

На входе сетевого фильтра включен традиционный узел защиты от сетевых перенапряжений и импульсных помех, включающий варистор $RU1$ и предохранитель $FU1$. Терморезистор $RK1$ с отрицательным температурным коэффициентом (NTC) ограничивает бросок входного тока, обусловленный зарядом емкостного фильтра $C4$ на входе инвертора при подключении электронного балласта к сети.

Далее напряжение сети выпрямляется диодным мостом $VD1$ и сглаживается конденсатором $C4$. Цепочка $R1C5$ питает микросхему $DA1$ — IR2153. Частота внутреннего генератора F_r микросхемы задается элементами $R2 = 15$ кОм; $C6 = 1$ нФ в соответствии с формулой

$$F_r = \frac{1}{1,4 \cdot (R2 + R_0) \cdot C6} = \frac{1}{1,4 \cdot (15 \cdot 10^3 + 75) \cdot 1 \cdot 10^{-9}} = 47,4 \text{ кГц.}$$

Резонансная частота балластной схемы F_6 задается элементами $L2 = 1,24$ мГн; $C10 = 10$ нФ в соответствии с формулой

$$F_6 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L2 \cdot C10}} = \frac{1}{6,28\sqrt{1,24 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-9}}} = 45,2 \text{ кГц.}$$

**Правило.**

Для обеспечения хорошего резонанса требуется выполнение следующего условия: частота внутреннего генератора должна быть примерно равна резонансной частоте балластной схемы, т. е. $F_2 \approx F_6$.

В нашем случае это правило выполняется. Элементы VD2, C7 образуют плавающий (бустрепный) источник питания формирователя импульсов управления полевым транзистором VT1. Элементы R5, C9 — демпфирующая цепь (snubber), предотвращающего защелкивание (срабатывания паразитного тиристора в структуре КМОП драйвера) выходных каскадов микросхемы. R3, R4 — ограничительные затворные резисторы, ограничивают наведенные токи и тоже предохраняют выходные каскады микросхемы от защелкивания. Увеличивать (в больших пределах) сопротивление этих резисторов не рекомендуется, т. к. это может привести к самопроизвольному открытию силовых транзисторов.

Конструкция и детали. Дроссель сетевого фильтра L1 намотан на ферритовом кольце K32×20×6 M2000HM двухжильным сетевым проводом до полного заполнения окна. Возможна замена на дроссель от ПФП блока питания телевизора, видеомагнитофона, компьютера.

Хорошие результаты помехоподавления дают специализированные фильтры EPCOS:

- ♦ B8414-D-B30;
- ♦ B8410-B-A14.

Дроссель электронного балласта L2 выполнен на Ш-образном магнитопроводе из феррита M2000HM. Типоразмер сердечника Ш5×5 с зазором $\delta = 0,4$ мм. Величина зазора в нашем случае — это толщина прокладки между соприкасающимися поверхностями половинок магнитопровода. Возможна замена магнитопровода на Ш6×6 с зазором $\delta = 0,5$ мм; Ш7×7 с зазором $\delta = 0,8$ мм.

Для изготовления зазора необходимо проложить прокладки из немагнитного материала (нефольгированный стеклотекстолит или гетинакс) соответствующей толщины между соприкасающимися поверхностями половинок магнитопровода и скрепить эпоксидным клеем.

**Примечание.**

От величины немагнитного зазора зависит величина индуктивности дросселя (при постоянном количестве витков). При уменьшении зазора индуктивность возрастает, при увеличе-

нии — уменьшается. Уменьшать величину зазора не рекомендуется, т. к. это приводит к насыщению сердечника.

При насыщении сердечника его относительная магнитная проницаемость резко уменьшается, что влечет за собой пропорциональное уменьшение индуктивности. Снижение индуктивности вызывает ускоренный рост тока через дроссель и его нагрев. Возрастает и ток, проходящий через ЛЛ, что отрицательно сказывается на сроке ее службы. Ускоренно нарастающий ток через дроссель также вызывает ударные токовые перегрузки силовых ключей VT1, VT2, повышенные омические потери в ключах, их перегрев и преждевременный выход из строя.

Обмотка L2 — 143 витка провода ПЭВ-2 диаметром 0,25 мм. Межслойная изоляция — лакоткань. Намотка — виток к витку.

Основные размеры Ш-образных сердечников (состоят из двух одинаковых Ш-образных сердечников) из магнитомягких ферритов (по ГОСТ 18614-79) приведены в табл. 3.2.

Основные размеры Ш-образных сердечников

Таблица 3.2

Типоразмер сердечника	Основные размеры сердечника, мм						Длина магнитной линии l_m , мм	Площадь поперечного сечения S_p , мм ²
	L	H	S	l_0	l_1	h		
Ш2,5×2,5	10	5	2,5	2,5	2	3,2	21,5	7,63
Ш3×3	12	6	3	3	2,5	4	26,4	10,5
Ш4×4	16	8	4	4	3,2	5,2	34,5	19,3
Ш5×5	20	10	5	5	4	6,5	43,1	30
Ш6×6	24	12	6	6	5	8	52,9	42,4
Ш7×7	30	15	7	7	6	9,5	62,9	62
Ш8×8	32	16	8	8	7,5	11,5	75,1	69,2
Ш10×10	36	18	10	10	8	13	83,8	100
Ш12×15	42	21	15	12	9	15	96,7	180
Ш16×20	54	27	20	16	11	19	123	321
Ш20×28	65	32,5	28	20	12	22	144	577

Транзисторы VT1, VT2 — IRF720, мощные полевые транзисторы с изолированным затвором. MOSFET — это Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor; в отечественном варианте МОП ПТ — полевые транзисторы структуры металл-окисел-полупроводник.

Рассмотрим их параметры:

- ♦ постоянный ток стока (I_D) — 3,3 А;
- ♦ импульсный ток стока (I_{DM}) — 13 А;
- ♦ максимальное напряжение сток-исток (V_{DS}) — 400 В;

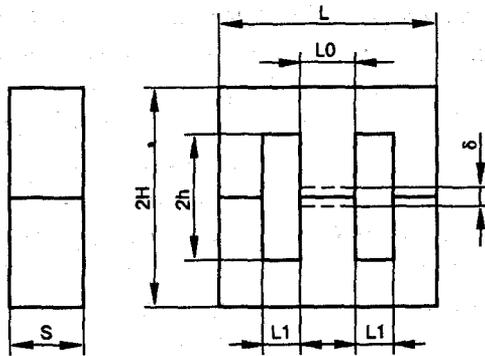


Рис. 3.16. Основные размеры сердечника (к табл. 3.2)

- ♦ максимальная рассеиваемая мощность (P_D) — 50 Вт;
- ♦ диапазон рабочих температур (T_j) — от -55 до $+150$ °С;
- ♦ сопротивление в открытом состоянии — 1,8 Ом;
- ♦ общий заряд затвора (Q_G) — 20 нКл;
- ♦ входная емкость (C_{iss}) — 410 пФ.

При выборе и замене транзисторов (сравнение в табл. 3.3) для электронных балластов следует помнить, что на сегодняшний день количество фирм, производящих полевые транзисторы, довольно велико (IR, STMicro, Toshiba, Fairchild, Infineon и т. д.). Ассортимент транзисторов постоянно расширяется, появляются более совершенные с улучшенными характеристиками. Параметры, на которые следует обращать повышенное внимание:

- ♦ постоянный ток стока (I_D);
- ♦ максимальное напряжение сток-исток (V_{DS});
- ♦ сопротивление в открытом состоянии, $R_{DS(on)}$;
- ♦ общий заряд затвора (Q_G);
- ♦ входная емкость C_{ISS} .

Возможные замены транзисторов для электронного балласта:

- ♦ IRF730, IRF820, IRFBC30A (International Rectifier);
- ♦ STP4NC50, STP4NB50, STP6NC50, STP6NB50 (STMicroelectronics);
- ♦ полевые транзисторы фирмы Infineon (<http://www.infineon.com>) серии LightMos, CoolMOS, SPD03N60C3, ILD03E60, STP03NK60Z;
- ♦ PHX3N50E фирмы PHILIPS и т. п.

Транзисторы установлены на небольшие пластинчатые радиаторы. Длина проводников между выходами драйвера 5, 7, резисторами в цепях затворов R3, R4 и затворами полевых транзисторов должна быть минимальной.

Сравнительная таблица с параметрами некоторых транзисторов для электронных балластов

Таблица 3.3

Параметр	IRF720	IRF730A	STP4NK60Z	STB3NC60	PHX3N50E	SPP04N50C3	ILP03N60(IGBT)
Постоянный ток стока, I_D , А	3,3	5	4	3	2,1	4	3
Максимальное напряжение сток-исток, V_{DS} , В	400	400	600	600	500	500	600
Сопротивление в открытом состоянии, $R_{DS(on)}$, Ом	1,8	1,0	1,76	3,3	2,5	0,85	
Общий заряд затвора, Q_G , нКл	20	20	18,8	13	26	22	8
Входная емкость, C_{ISS} , пФ	410	600	510	400	310	470	
Производитель	IR	IR	STMicro	STMicro	PHilips	Infineon	Infineon

Диодный мост VD1 — импортный RS207; допустимый прямой ток 2 А; обратное напряжение 1000 В. Можно заменить на четыре диода с соответствующими параметрами.

Диод VD2 класса ultra-fast (сверхбыстрый) — обратное напряжение не менее 400 В; допустимый прямой постоянный ток — 1 А; время обратного восстановления — 35 нс. Подойдут 11DF4, BYV26B/C/D, HER156, HER157, HER105—HER108, HER205—HER208, SF18, SF28, SF106—SF109, BYT1-600. Этот диод должен располагаться как можно ближе к микросхеме.

Микросхема DA1 — IR2153, она заменяема на IR2152, IR2151, IR2153D, IR21531, IR2154, IR2155, L6569, MC2151, MPIC2151. При использовании IR2153D диод VD2 не требуется, т. к. он установлен внутри микросхемы.

Резисторы R1—R5 — ОМЛТ или МЛТ.

Конденсаторы C1—C3 — К73-17 на 630 В; C4 — электролитический (импортный) на номинальное напряжение не менее 350 В; C5 — электролитический на 25 В; C6 — керамический на 50 В; C7 — керамический или К73-17 на напряжение не менее 60 В; C8, C9 — К73-17 на 400 В; C10 — полипропиленовый К78-2 на 1600 В.

Варистор RU1 фирмы EPCOS — S14K275, S20K275, заменим на TVR (FNR) 14431, TVR (FNR) 20431 или отечественный CH2-1a-430 В.

Терморезистор (термистор) RK1 с отрицательным температурным коэффициентом (NTC — Negative Temperature Coefficient) — SCK 105 (10 Ом, 5 А) или фирмы EPCOS — B57234-S10-M, B57364-S100-M.

Термистор можно заменить на проволочный резистор 4,7 Ом мощностью 3—5 Вт.

Позистор RK2 — термистор PTC (Positive Temperature Coefficient) с положительным температурным коэффициентом. Разработчики IR2153 рекомендуют использовать позистор фирмы Vishay Cera-Mite — 307C1260. Его основные параметры:

- ♦ номинальное сопротивление при $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 850 Ом;
- ♦ мгновенное (максимально допустимое) среднеквадратичное напряжение, прикладываемое к позистору при зажигании лампы — 520 В;
- ♦ постоянное (максимально допустимое) среднеквадратичное напряжение, прикладываемое к позистору при нормальной работе лампы, — 175 В;
- ♦ максимальный допустимый ток переключения (переводящий позистор в высокоомное состояние) — 190 мА;
- ♦ диаметр позистора — 7 мм.

Возможная замена позистора RK2 — импульсные позисторы фирмы EPCOS (число циклов переключения 50000—100000): B59339-A1801-P20, B59339-A1501-P20, B59320-J120-A20, B59339-A1321-P20.

Позисторы с необходимыми параметрами в количестве, достаточном для восьми электронных балластов, можно изготовить из широко распространенного позистора СТ15-2-220 от системы размагничивания телевизора ЗУСЦТ. Разобрав пластмассовый корпус, извлекают две «таблетки». Алмазным надфилем делают на каждой два надпила крест-накрест, как показано на рис. 3.17, и разламывают ее по надпилам на четыре части.

К металлизированным поверхностям изготовленного таким образом позистора очень трудно припаять выводы. Поэтому, как показано на рис. 3.18, делают в печатной плате (поз. 3) прямоугольное отверстие и зажимаю обломок «таблетки» (поз. 1) между упругими контактами (поз. 2), припаянными к печатным проводникам. Подбирая размер обломка, можно добиться желаемой продолжительности прогрева лампы.

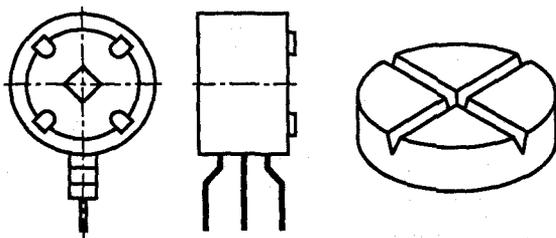


Рис. 3.17. «Таблетка» позистора с надпилами

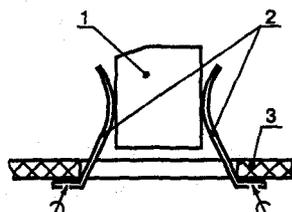


Рис. 3.18. Крепление самодельного позистора на плате

**Совет.**

Если люминесцентную лампу предполагается использовать в режиме нечастого включения-выключения, то позистор можно исключить.

Настройка. Разброс параметров элементов С6, L2, С10 может потребовать подстройки частоты драйвера. Равенства частоты задающего генератора микросхемы IR2153 резонансной частоте контура L2C10 проще всего добиваться подборкой частотодающего резистора R2. Для этого его удобно временно заменить парой последовательно соединенных резисторов: постоянного (10—12 кОм) и подстроечного (10—15 кОм). Критерием правильной настройки служат надежный запуск (зажигание) и устойчивое горение лампы.

Балласт собран на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита и помещен в алюминиевый экранирующий кожух. Печатная плата и расположение элементов показана на рис. 3.19.

3.3.3. Миниатюрные электронные балласты на IR53HD420

**Внимание!**

Конструкция гальванически связана с электрической сетью. Потенциально опасна для жизни из-за возможного поражения электрическим током. Поэтому при изготовлении, проверке, налаживании и эксплуатации следует помнить о строгом соблюдении мер электробезопасности.

Конструкция должна быть выполнена так, чтобы исключить случайное касание оголенных выводов проводников или деталей. Проверяя работу конструкции, не следует касаться руками никаких ее деталей или цепей, а заменяемые детали перепайвать только при вынутой из розетки сетевой вилке.

Рассмотрим миниатюрный электронный балласт, выполненный на гибридной микросхеме IR53HD420 (IR51HD420), в которую встроены силовые транзисторы и диод вольтодобавки. Сверхминиатюрные электронные балласты, выполненные на гибридной микросхеме IR51HD420, рассчитаны на совместную работу с одиночными лампами, имеющими ток до 0,3 А, и широко используются с компактными люминесцентными

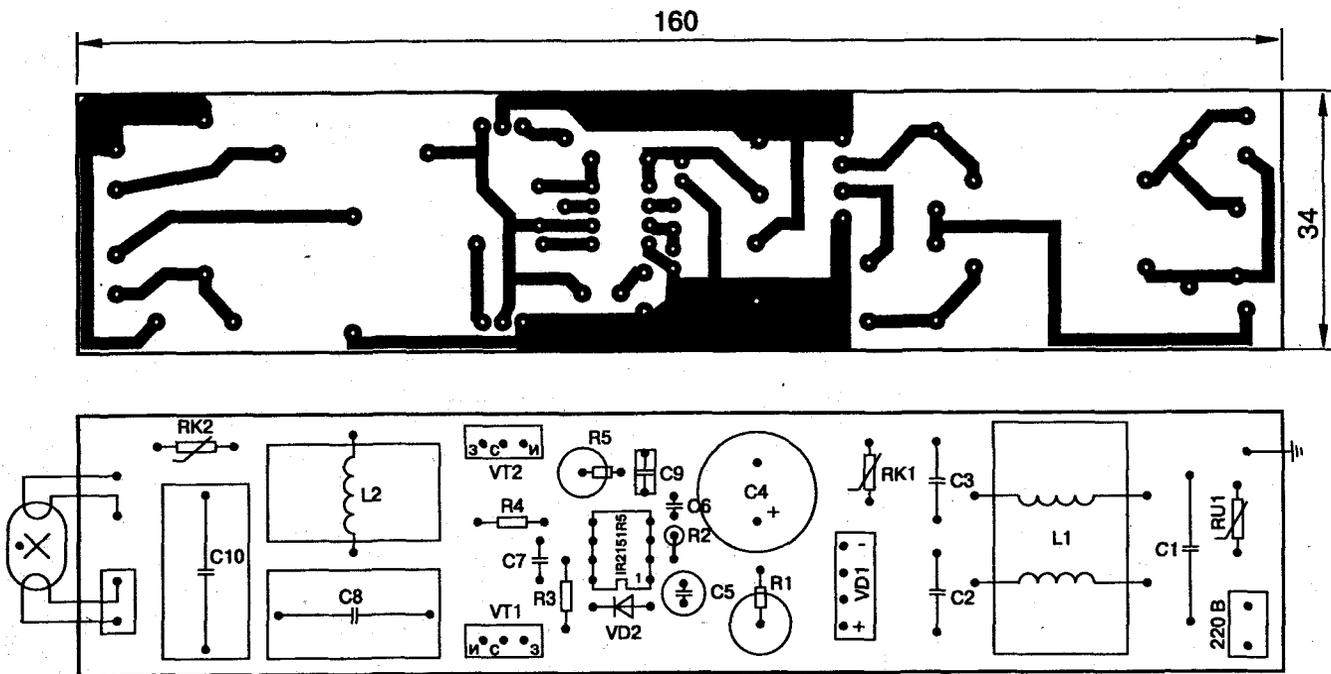


Рис. 3.19. Печатная плата и расположение элементов

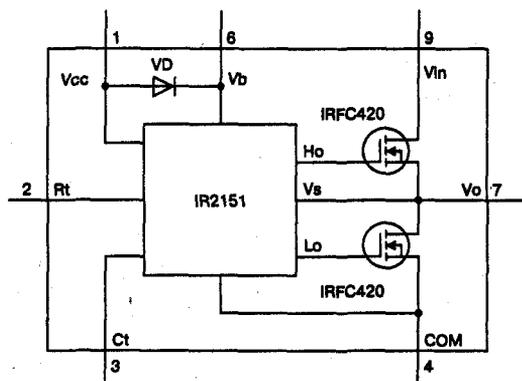


Рис. 3.20. Структурная схема IR53HD420/IR51HD420

лампами. Структурная схема IR53HD420/IR51HD420 представлена на рис. 3.20.

Семейство IR53Hxxx/IR51Hxxx с интегрированными силовыми транзисторами включает в себя несколько микросхем с различными параметрами, основные характеристики которых приведены в табл. 3.4.

Характеристики микросхем

Таблица 3.4

Тип ИС	Максимальное напряжение, В	Сопротивление ключа, Ом	Напряжение сети, В	Мощность лампы, Вт
IR5xH214, IR5xHD214	250	2,0	110	5—15
IR5xH224, IR5xHD224	250	1,1	110	15—25
IR5xH737, IR5xHD737	300	0,75	110	25—35
IR5xH310, IR5xHD310	400	3,6	220	5—15
IR5xH320, IR5xHD320	400	1,8	220	15—25
IR5xH420, IR5xHD420	500	3,0	220	10—20

Примечание к табл. 3.4.

HD — с интегрированным вольтодобавочным диодом;

H — без диода.

Основные параметры IR51HD420 аналогичны IR2151, IR2153. Интегрированные в IR51HD420 два n -канальных транзистора HEXFET (IRFC420) имеют следующие параметры:

- ♦ постоянный максимальный ток стока I_D — 1,2 А;
- ♦ рекомендуемый долговременный ток стока I_D — 0,7 А;
- ♦ максимальное напряжение сток-исток V_{DS} — 500 В;
- ♦ максимальная рассеиваемая мощность P_D — 2—3 Вт;
- ♦ сопротивление канала силовых ключей в открытом состоянии R_{DS} — 3,0 Ом.

Принципиальная электрическая схема миниатюрного электронного балласта изображена на рис. 3.21.

Принцип работы аналогичен электронному балласту на IR2153, который мы уже рассмотрели выше.

Дроссель сетевого фильтра L1 намотан на ферритовом кольце K20×12×6 M2000HM двухжильным сетевым проводом (или сложенным

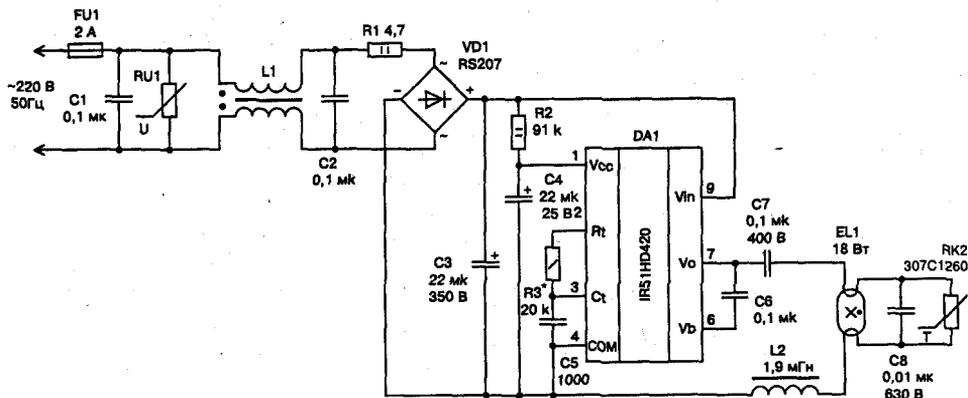


Рис. 3.21. Принципиальная электрическая схема миниатюрного электронного балласта, построенного на IR53HD420

вдвое МГТФ) до полного заполнения окна. Хорошие результаты помехоподавления в сочетании с миниатюрными размерами дают специализированные фильтры EPCOS: B84110-B-A14, B84110-A-A5, B84110-A-A10, B84110-A-A20.

Дроссель электронного балласта L2 выполнен на Ш-образном магнитопроводе из феррита M2000HM. Типоразмер сердечника Ш5×5 с зазором $\delta = 0,4$ мм под всеми тремя рабочими поверхностями Ш-образного сердечника. Величина зазора в нашем случае — это толщина прокладки между соприкасающимися поверхностями половинок магнитопровода.

Для изготовления зазора необходимо проложить прокладки из немагнитного материала (нефольгированный стеклотекстолит или гетинакс) толщиной 0,4 мм между соприкасающимися поверхностями половинок магнитопровода и скрепить эпоксидным клеем.



Правило.

От величины немагнитного зазора зависит величина индуктивности дросселя (при постоянном количестве витков). При уменьшении зазора индуктивность возрастает, при увеличении — уменьшается.

Обмотка L2 — 180 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,25 мм. Межслойная изоляция — лакоткань. Намотка — виток к витку.

Диодный мост VD1 — импортный RS207, допустимый прямой ток 2 А, обратное напряжение 1000 В. Можно заменить на четыре диода с соответствующими параметрами.

Гибридную микросхему **IR51HD420** можно заменить на **IR53HD420**, **IR51H420**, **IR53H420**.



Совет.

*При использовании **IR51H420**, **IR53H420** нужно учесть, что у этих микросхем отсутствует встроенный диод вольтодобавки (между выводами 1 и 6), и его следует установить. Используемый при этом диод должен быть класса *ultra-fast* (сверхбыстрый) с параметрами: обратное напряжение 400 В; допустимый прямой постоянный ток — 1 А; время обратного восстановления — 35 нс.*

Подойдут **11DF4**, **BYV26B/C/D**, **HER156**, **HER157**, **HER105—HER108**, **HER205—HER208**, **SF18**, **SF28**, **SF106—SF109**. Диод должен располагаться как можно ближе к микросхеме.

R3, **C5**, **C6** — SMD элементы для поверхностного монтажа (**C6** на 60 В). Конденсаторы **C1**, **C2**, **C7** — К73-17. **C1**, **C2** — на 630 В, **C7** — на 400 или 630 В; **C3** — электролитический (два по 10 мкФ в параллель) импортный на номинальное напряжение не менее 350 В; **C4** — электролитический на 25 В; **C8** — полипропиленовый К78-2 на 1000 В.

Варистор **RU1** фирмы **EPCOS** — **S14K275**, **S20K275**, заменим на **TVR (FNR) 14431**, **TVR (FNR) 20431** или отечественный **CH2-1a-430 В**.

R1 — проволочный 2,2—4,7 Ом мощностью 1—2 Вт, можно заменить на терморезистор (термистор) с отрицательным температурным коэффициентом (**NTC** — **Negative Temperature Coefficient**) — **SCK 105** (10 Ом, 5 А) или фирмы **EPCOS** — **B57234-S10-M**, **B57364-S100-M**.

RK2 — позистор, такой же как и в электронном балласте на **IR2153**.

Балласт собран на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита и помещен в алюминиевый экранирующий кожух. Печатная плата и расположение элементов показана на **рис. 3.22**. Рекомендации по настройке аналогичны тем, которые были рассмотрены в разделе, посвященном электронному балласту на **IR2153**.

3.3.4. Электронный балласт с измененной цепью прогрева катодов

Следующий вариант электронного балласта, схема которого изображена на **рис. 3.23**, имеет несколько измененную цепочку предварительного прогрева катодов. Она образована элементами **C7**, **C8**, **RK1**.

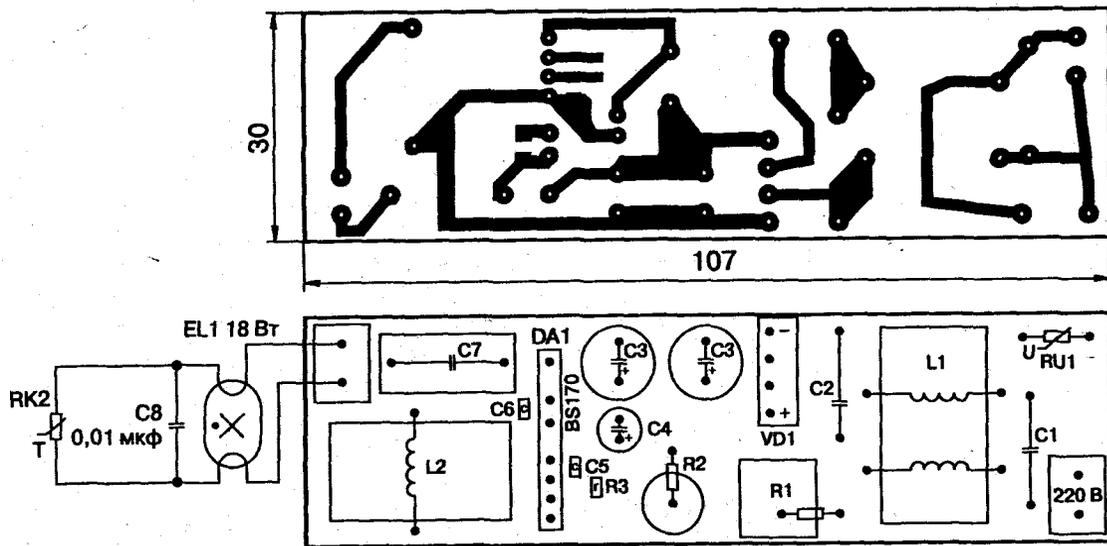


Рис. 3.22. Печатная плата и расположение элементов

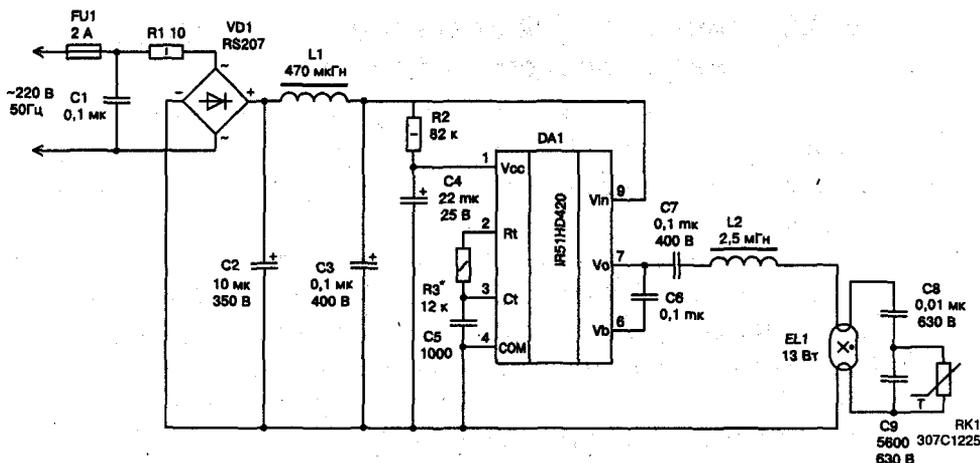


Рис. 3.23. Электронный балласт с измененной цепью прогрева катодов

Особенность работы заключается в том, что в начальный момент малое сопротивление (300 Ом) холодного позистора RK1 шунтирует конденсатор C9, и резонансная частота балластной схемы F_6 определяется элементами L2, C8 в соответствии с формулой

$$F_6 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L2 \cdot C8}}, \text{ кГц.}$$

Частота F_6 ниже, чем частота внутреннего генератора F_r микросхемы, которая задается элементами R3, C4 в соответствии с формулой

$$F_r = \frac{1}{1,4 \cdot (R3 + 75) \cdot C4}, \text{ кГц.}$$

При таких условиях лампа не зажигается. Происходит прогрев электродов током, протекающим через C8, RK1. Одновременно при этом нагревается позистор, сопротивление его резко увеличивается, и он перестает шунтировать C9. Резонансная частота балластной схемы F_6 теперь определяется элементами L2 и последовательным соединением C8, C9. F_6 становится равным F_r — лампа зажигается. R3 выбирается из условия обеспечения выполнения описанных выше равенств.

Цепочка C1, C3, L1 — помехоподавляющая.

3.3.5. Миниатюрный электронный балласт на микросхеме IR51HD420

Еще один вариант миниатюрного электронного балласта, выполненного на гибридной микросхеме IR51HD420, представлен на рис. 3.24. Схема построена по полумостовому принципу. Схема имеет дополнительные возможности:

- ♦ установка времени прогрева накальных электродов лампы;
- ♦ наличие защитного режима работы электронного балласта при перегорании накальных электродов и отсутствия лампы.

Схема двуступенчатого прогрева накальных электродов образована элементами R3—R5, C5, C7, VD2—VD4, VT1, VT2. Время прогрева накальных электродов задается элементами R3, C5, VD2, VD3. Работает схема следующим образом. В начальный момент транзисторы VT1, VT2 закрыты — частота работы драйвера и прогрева определяется элементами R6, C6, C7, VD4. Эта частота выше резонансной, напряжение на лампе недостаточно для ее зажигания. По мере заряда конденсатора C5 напряжение на нем возрастает. Открывается первый пороговый элемент на стабилитроне VD3, что в свою очередь приводит к открытию ключевого элемента VT1.

После этого частота драйвера определяется элементами R6, C6, C7. Процесс прогрева электродов продолжается. Далее с ростом напряжения на C5 открывается второй пороговый элемент на стабилитроне VD2, что, в свою очередь, приводит к открытию ключевого элемента VT2. Частота драйвера уменьшается (определяется элементами R6, C6) и становится равной резонансной частоте. Процесс прогрева электродов заканчивается, индуктивный резонансный выброс напряжения зажигает лампу.

Транзисторы VT1, VT2 — это n -канальные MOSFET в корпусе SOT-23 с параметрами:

- ♦ максимальный ток стока I_D — 1,2 А;
- ♦ импульсный максимальный ток стока I_{DM} — 7,4 А;
- ♦ максимальное напряжение сток-исток V_{DS} — 20 В;
- ♦ максимальная рассеиваемая мощность P_D — 540 мВт;
- ♦ сопротивление в открытом состоянии — 0,25 Ом.

Защитный режим работы электронного балласта при перегорании накальных электродов и отсутствия лампы реализован на особом способе питания IR51HD420. Элементы C11, VD5, VD6 образуют своеобразную цепь подпитки драйвера. Резистор R2 подбирают таким образом, что при установленной и исправной лампе совместно со схемой подпитки образуется достаточный ток для нормальной работы драйвера (напря-

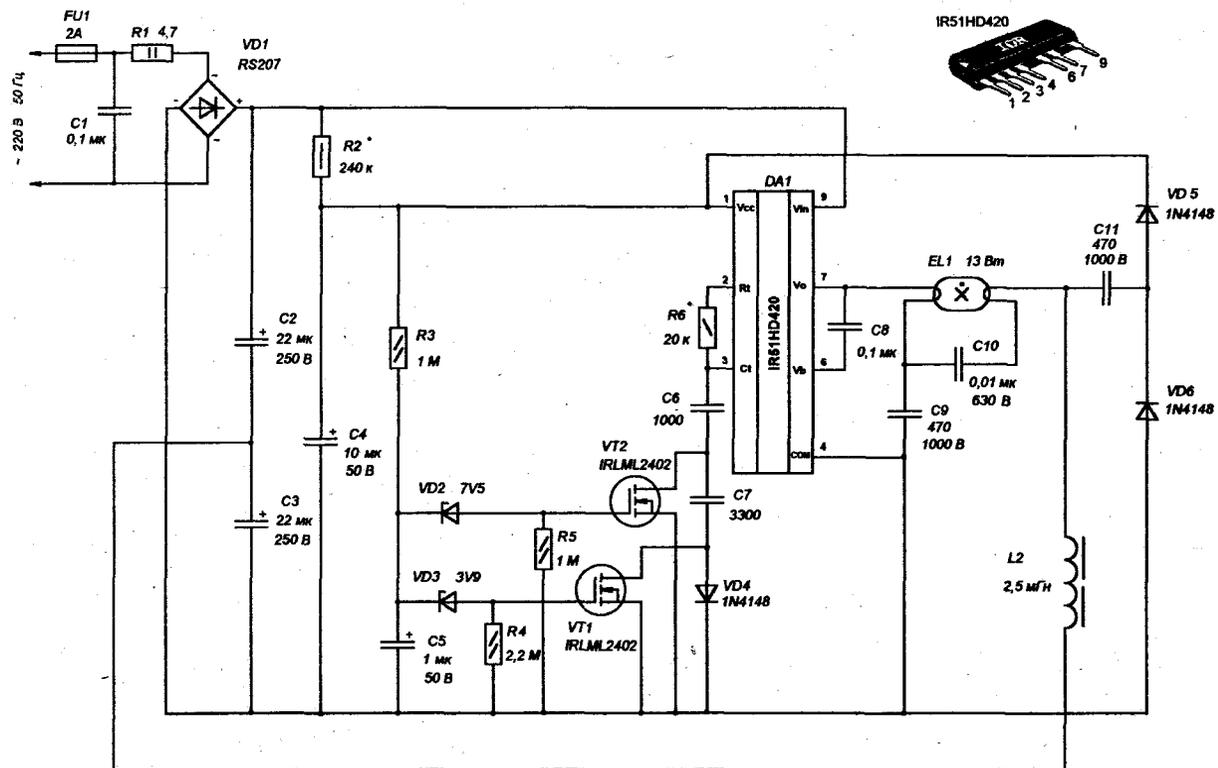


Рис. 3.24. Схема миниатюрного электронного балласта на микросхеме IR51HD420

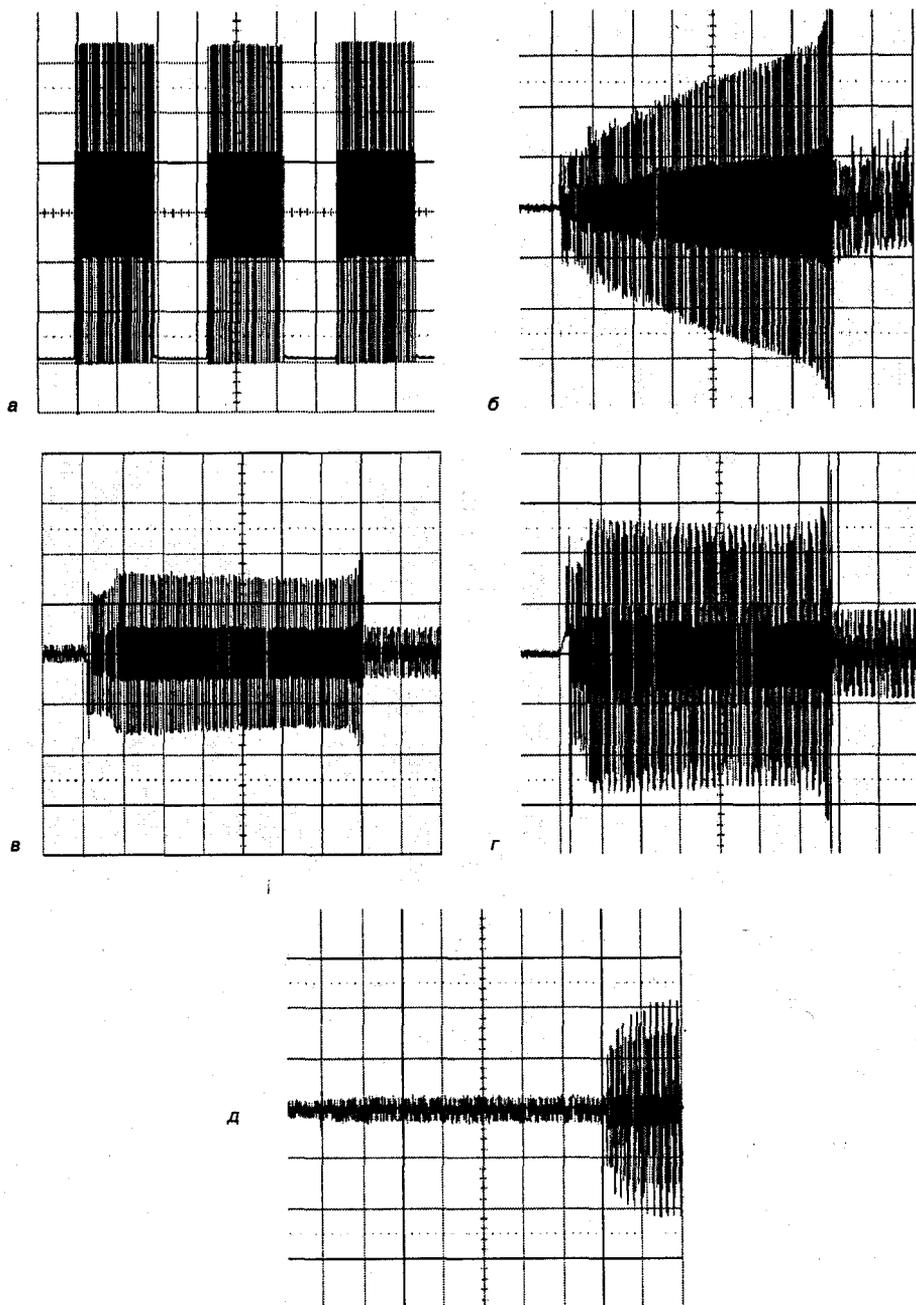


Рис. 3.25. Осциллограммы, поясняющие работу электронного балласта:
а — напряжение на выходе полумостового ключа при отключенной (неисправной) лампе;
б — напряжение на катоде люминесцентной лампы; в — ток через катод лампы;
г — напряжение на лампе; д — ток лампы

жение на выводе 1 при этом 13—15 В). Но при обрыве электродов или отсутствии лампы процесс подпитки нарушается, напряжение на питающем выводе 1 падает, микросхема IR51HD420 переходит в защитный режим работы, характеризующийся периодической блокировкой схемы управления силовыми ключами.

Осциллограмма защитного режима работы изображена на рис. 3.25, а. Напряжения и токи на электродах лампы во время прогрева, зажигания и свечения показаны на рис. 3.25, б—д.

Дроссель электронного балласта L2 выполнен на Ш-образном магнитопроводе из феррита М2000НМ. Типоразмер сердечника Ш5×5 с зазором $\delta = 0,4$ мм. Обмотка L2 — 205 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,2—0,25 мм. Межслойная изоляция — локоткань. Намотка — виток к витку.

Данный электронный балласт рассчитан на работу с компактной люминесцентной лампой мощностью 13 Вт, током 0,165 А и сопротивлением накаливаемых электродов в холодном состоянии 4 Ом.

3.3.6. Миниатюрный электронный балласт на микросхеме IR51HD420 с одноступенчатым частотным прогревом электродов и обычной схемой питания

Вариант миниатюрного электронного балласта на микросхеме IR51HD420 с одноступенчатым частотным прогревом электродов и обычной схемой питания представлен на рис. 3.26.

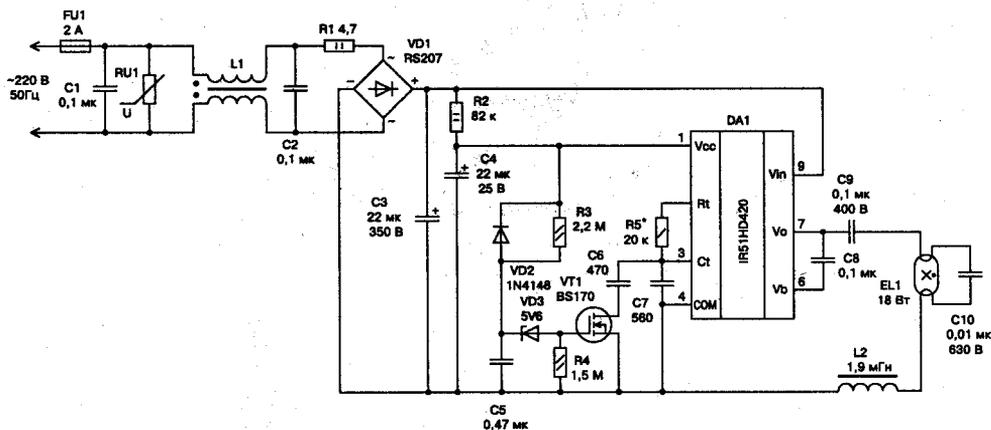


Рис. 3.26. Схема электронного балласта с одноступенчатым прогревом

Транзистор VT1 (BS170) — это *n*-канальный МОП транзистор в корпусе ТО-92 с параметрами:

- ♦ максимальный ток стока I_D — 0,7 А;
- ♦ максимальное напряжение сток-исток V_{DS} — 60 В;
- ♦ максимальная рассеиваемая мощность P_D — 800 мВт;
- ♦ сопротивление в открытом состоянии R_{DS} — 1,2 Ом.

Транзистор можно заменить на КП501, BSS89, BST76, VN2401 или на любые другие со схожими параметрами. Печатная плата и расположение элементов балласта с одноступенчатым прогревом показана на рис. 3.27.

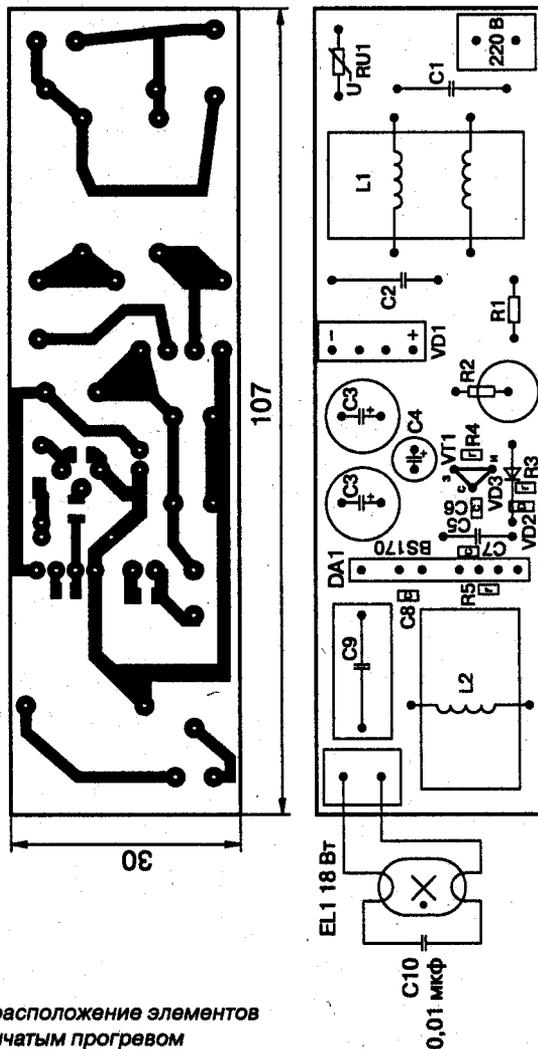


Рис. 3.27. Печатная плата и расположение элементов балласта с одноступенчатым прогревом

Схемотехнические решения, использованные в электронных балластах на IR5xHD420, применимы и к электронным балластам на IR215x, рассмотренным ранее.

3.3.7. Современный электронный балласт на IR2520

На данный момент стала доступна сравнительно недорогая специализированная микросхема IR2520D. Имея всего восемь выводов, она не только поддерживает в заданных пределах ток и напряжение на лампе при прогреве, поджиге и в рабочем режиме, но и обладает рядом защитных функций. Схема ЭПРА с использованием IR2520D изображена на рис. 3.28.

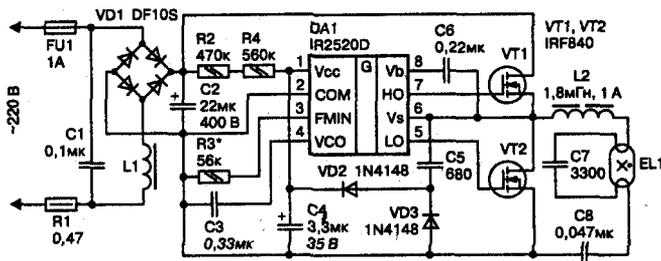


Рис. 3.28. Схема ЭПРА с использованием IR2520D

Данная схема с успехом была спроектирована с помощью последней версии программы Ballast Designer, а использована для замены вышедшего из строя электронного балласта КЛЛ мощностью 26 Вт. Внутреннюю структурную блок-схему можно узнать, обратившись к фирменному даташиту.

Диодный мост VD1 выпрямляет переменное сетевое напряжение. Конденсатор C2 — сглаживающий. Первичный бросок зарядного тока конденсатора C2 ограничивает резистор R1, а импульсные помехи ослабляет фильтр L1C1.

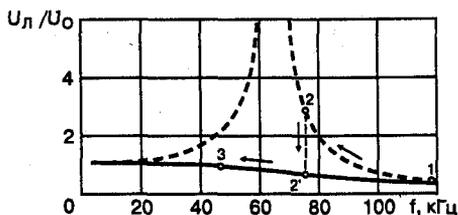


Рис. 3.29. График, поясняющий работу схемы

Сразу же после включения начинается зарядка конденсатора C4 током, текущим через резисторы R2 и R4. Как только напряжение на этом конденсаторе и между выводами 1 и 2 микросхемы

DA1 достигнет 12,6 В; микросхема начнет генерировать импульсы, управляющие полевыми транзисторами VT1 и VT2. Зарядка конденсатора C4 будет продолжаться, пока напряжение на нем не достигнет 15,6 В — напряжения стабилизации встроенного в микросхему стабилитрона. Так как резисторы R2 и R4 обеспечивают ток, достаточный лишь для запуска микросхемы, в рабочем режиме ее питает выпрямитель выходного напряжения на диодах VD2, VD3 и конденсаторе C5.

Частота генерируемых импульсов зависит от сопротивления резистора R3 и от напряжения на выводе 4 микросхемы. Сразу после включения это напряжение равно нулю (конденсатор C3 разряжен), частота максимальна и равна 118,5 кГц (точка 1 на рис. 3.29). Резонансная частота контура L2C7 гораздо ниже (65,3 кГц), поэтому амплитуда переменного напряжения на не горящей пока лампе EL1 невелика. Ток высокой частоты течет через ее нити накаливания, прогревая их.

По мере зарядки конденсатора C3 током, источником которого служит сама микросхема, частота генерируемых импульсов снижается (участок 1—2 на графике, рис. 3.29), напряжение на лампе и ток ее накала растут. Приблизительно через 1 с, когда напряжение на конденсаторе C3 достигнет 4,8 В, частота станет равной 75,5 кГц, а напряжение на лампе — 450 В. Этого напряжения достаточно для поджига, в результате в лампе возникнет газовый разряд, и она вспыхнет.

Так как напряжение горения лампы гораздо ниже напряжения ее пробоя, рабочая точка на графике (рис. 3.29) скачком переместится из точки 2 (соответствует погашенной лампе и высокой добротности колебательного контура L2C7) в точку 2' (лампа горит, добротность зашунтированного ее разрядным промежутком контура резко снизилась). Зарядка конденсатора C3 будет продолжаться, пока напряжение на выводе 4 микросхемы не достигнет 6 В, что соответствует частоте подаваемого на лампу напряжения 47,4 кГц. Это номинальный режим горения лампы (точка 3 на графике, рис. 3.29).

Встроенный в микросхему R2520D узел контроля измеряет пропорциональное току, текущему через полевой транзистор VT2, падение напряжения на сопротивлении его открытого канала сток-исток. Если транзистор открывается, когда мгновенное значение тока нагрузки равно нулю, напряжение на выводе 4 микросхемы и зависящая от него частота колебаний остаются неизменными. Но в результате старения элементов или по другим причинам резонансная частота нагрузки может измениться. Следствием этого станет ненулевое значение тока, текущего через транзистор VT2 в первый момент после его открывания.

Обнаружив это, узел управления микросхемы начнет уменьшать напряжение на выводе 4, повышая этим частоту колебаний. Если для достижения нуля окажется недостаточно снижения напряжения на выводе 4 даже до 0,85 В (такое может случиться при нарушении контакта в держателе лампы или перегорании ее нити накала), микросхема перейдет в аварийный режим, закрыв транзисторы VT1 и VT2, разрядив конденсатор С3 и уменьшив потребляемый ток до 100 мкА. Для того чтобы выйти из этого режима, придется уменьшить напряжение питания (между выводами 1 и 2 микросхемы) до значения, меньшего 10 В, а затем вновь поднять его выше 12,6 В.

Если по достижении точки 2 (см. рис. 3.29) зажигания лампы не произошло в связи с ее неисправностью или отсутствием, уменьшение частоты колебаний продолжится, напряжение на конденсаторе С7 превысит допустимое значение, и он может быть пробит. Возможно и насыщение магнитопровода дросселя L2.

Установлено, что в таких условиях растет пик-фактор (отношение амплитудного значения к среднему) тока, текущего через открытый транзистор VT2. Используя сопротивление открытого канала этого транзистора как датчик тока, узел контроля микросхемы измеряет пик-фактор. При его усредненном за 10—20 периодов колебаний значении более пяти микросхема перейдет в описанный ранее аварийный режим.

Из других особенностей микросхемы R2520D следует отметить наличие «бутстреппного» полевого транзистора, а не диода между выводами 8 и 1. Открывает и закрывает этот транзистор сигнал, вырабатываемый внутри микросхемы. Это обеспечивает высокую скорость переключения и малые потери энергии на сопротивлении открытого канала транзистора.

Во вновь изготавливаемом ЭПРА использован в качестве L2 дроссель от неисправного ЭПРА КЛЛ, индуктивность которого была измерена и оказалась равной 2,5 мГн. Для того, чтобы уменьшить ее до требуемых 1,8 мГн, пришлось увеличить немагнитный зазор в магнитопроводе дросселя. Для правильного расчета дросселя и других элементов при использовании различных КЛЛ следует пользоваться программой автоматического проектирования Ballast Designer последней доступной версией.

Как выяснилось, каркас с обмоткой зафиксирован на магнитопроводе электроизоляционным лаком. Чтобы размягчить лак, дроссель был примерно на полчаса помещен выводами вниз на дно закрытого сосуда, в который слоем глубиной 3—4 мм был налит ацетон. После этого осторожным покачиванием удалось ослабить ранее прочные соединения.

Затем без всякого нагревания две половины магнитопровода были извлечены из каркаса с обмоткой, для этого потребовалось лишь удалить скреплявшую их липкую ленту.

Длина воздушного зазора на центральном стержне магнитопровода была равна 1 мм. Чтобы без перемотки снизить индуктивность дросселя, в стыки боковых стержней половин магнитопровода пришлось вставить прокладки из немагнитного материала толщиной по 10,25 мм. Измеренная после сборки индуктивность дросселя — 1,78 мГн. Как показали испытания и последующая эксплуатация ЭПРА, переделка оказалась успешной.

При отсутствии измерителя индуктивности можно с помощью подходящих генератора и вольтметра (или осциллографа) проверить резонансную частоту контура L2C7. Она должна быть близкой к 65 кГц.

Все элементы устройства смонтированы на односторонней печатной плате, показанной на рис. 3.30.

Для микросхемы DA1 на плате можно предусмотреть 18-контактную панель. Выводы оксидного конденсатора C2 не обрезают, а изолируют полихлорвиниловой трубкой на всю длину и впаивают их концы в плату. Этот конденсатор устанавливают так, чтобы он, опираясь на транзистор VT1 и дроссель L2, возвышался над платой, а при сборке лампы вошел в ее пустотелый цоколь.

Дроссель L1 — магнитопровод «гантель» наружным диаметром 7—10 мм, заполненный проводом ПЭВ-2 диаметром 0,21 мм. Он изолирован термоусадочной трубкой. Диодный мост VD1 в исполнении для поверхностного монтажа установлен на стороне печатных проводников платы.

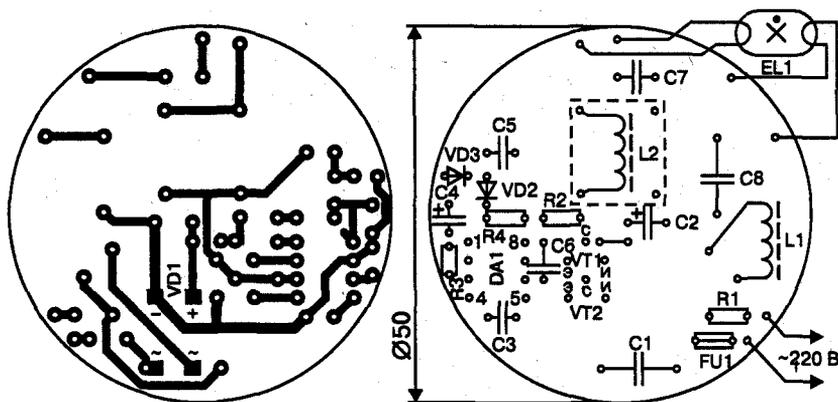


Рис. 3.30. Печатная плата

Его можно заменить обычным в корпусе DP или отдельными диодами с обратным напряжением не менее 400 В и с прямым током 1 А. Но для этого печатную плату потребуется переделать.

Резистор R1 — KNP-50. Конденсаторы C1 и C8 — К73-17 на напряжение 630 В, C4 — TDC (танталовый с радиальными выводами), C5 и C7 — импортные дисковые керамические диаметром 7 мм с рабочим напряжением 2 кВ. К остальным резисторам и конденсаторам особых требований не предъявляется. Транзисторы установлены без теплоотводов.



Совет.

После монтажа элементов плату рекомендуется покрыть несколькими слоями электроизоляционного лака.

Включив ЭПРА с лампой и убедившись, что он работает, можно определить потребляемую лампой мощность. Для этого последовательно в цепь лампы потребуется временно включить токоизмерительный резистор сопротивлением 1 Ом. Если мощность не соответствует номинальной, ее можно изменить, подбирая резистор R3. С увеличением его сопротивления частота приложенного к лампе напряжения уменьшается, а мощность растет.

3.3.8. ЭПРА на элементах от фирмы PHILIPS



Внимание!

Конструкции гальванически связаны с электрической сетью. Потенциально опасны для жизни из-за возможного поражения электрическим током. Поэтому при изготовлении, проверке, налаживании и эксплуатации следует помнить о строгом соблюдении мер электробезопасности.

Конструкции должны быть выполнены так, чтобы исключить случайное касание оголенных выводов проводников или деталей. Проверая работу конструкций, не следует касаться руками ее деталей или цепей, а заменяемые детали перепаявать только при полном отключении от электрической сети (вынутой из розетки сетевой вилке).

Обзор производимых микросхем для ЛЛ и КЛЛ

Для PHILIPS Semiconductors (PHs) разработка компонентов электронных балластов является одним из приоритетных направлений деятельности. Микросхемы электронных балластов PHs разрабатывает и производит практически для всех типов ламп:

- ♦ **UBA2021, UBA2014** — для люминесцентных ламп (серий TL, TL-D, TL-D HF);
- ♦ **UBA2024** — для компактных люминесцентных (CFL — Compact Fluorescent Lamp);
- ♦ **UBA2070** — для ламп с холодным катодом (Cold Cathode Fluorescent Lamp), используемых в сканерах, копирах, для подсветки LCD-мониторов и т. п.;
- ♦ **UBA2030, UBA2032** — для новейших ксеноновых ламп (HID — High Intensity Discharge);
- ♦ **UBA2000** — для электронных стартеров.

Драйверы разрабатываются с учетом особенностей эксплуатации в различных регионах (по частоте и напряжению) и удовлетворяют самым строгим требованиям по электромагнитной совместимости и показателям энергосбережения.

Последние разработки PHILIPS в данной области позволяют создавать малогабаритные устройства, требующие минимального количества внешних компонентов и имеющие полный набор защитных и сервисных функций.

Электронный балласт, реализованный на UBA2021

Рассмотрим электронный балласт, реализованный на UBA2021. Принципиальная электрическая схема ЭПРА для люминесцентной лампы мощностью 58 Вт изображена на рис. 3.31.

«Сердцем» ЭПРА является микросхема UBA2021. Эта специализированная ИМС предназначена для работы как с обычными, так и с компактными люминесцентными лампами. В состав UBA2021 входят высоковольтный драйвер со схемой запуска, генератор и таймер, обеспечивающие управление на стадиях пуска, подогрева, зажигания и горения лампы, а также защиту от емкостного режима.

ИМС выдерживает напряжения до 390 В и кратковременные всплески напряжений ($t < 0,5$ с) до 570—600 В. Низковольтное напряжение питания внутренне фиксируется, что устраняет необходимость установки внешнего стабилитрона. Фиксация осуществляется при токах до 14 мА с кратковременными ($t < 0,5$ с) всплесками до 35 мА. Структурная схема UBA2021 показана на рис. 3.32.

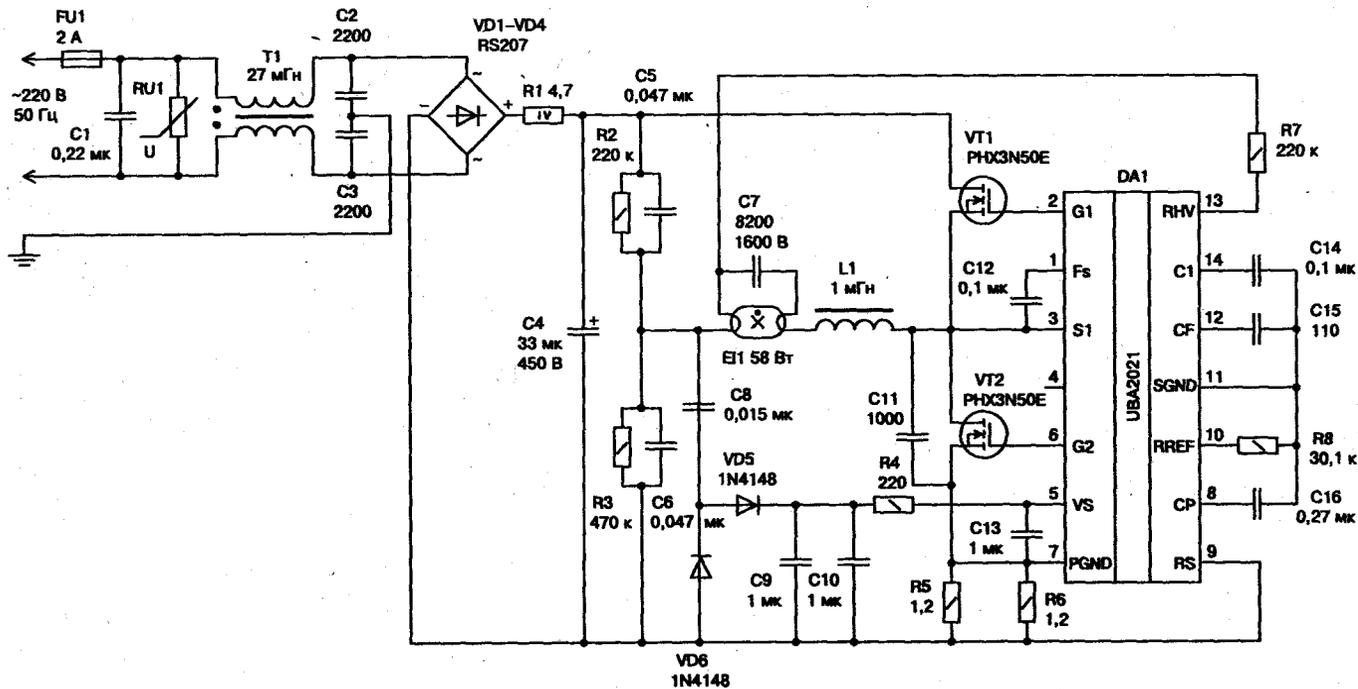


Рис. 3.31. Схема электронного балласта на микросхеме UBA2021

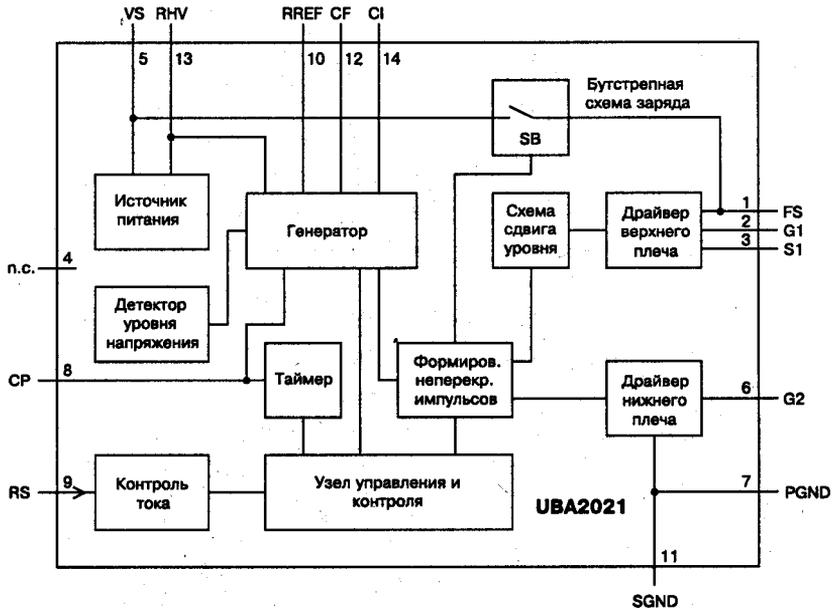


Рис. 3.32. Структурная схема микросхемы UBA2021

Микросхема выполнена в пластиковом корпусе с 14 выводами (либо DIP-14, либо SO-14). Назначение выводов микросхемы UBA2021 приведено в табл. 3.5.

Назначение выводов микросхемы UBA2021

Таблица 3.5

Обозначение	Вывод	Назначение вывода	
		Английское название	Русское название
FS	1	High Side Floating Supply Voltage	Плавающее питание драйвера верхнего плеча
G1	2	Gate High Transistor (VT1)	Затвор транзистора VT1 (верхнее плечо)
S1	3	Source High Transistor (VT1)	Исток транзистора VT1
п.с.	4	No Connection	Не используется
VS	5	Low Voltage Supply	Питание (низковольтное)
G2	6	Gate Low Transistor (VT2)	Затвор транзистора VT2 (нижнее плечо)
PGND	7	Power Ground	Силовая земля
CP	8	Timing / Averaging Capacitor	Времязадающий / усредняющий конденсатор
RS	9	Current Monitoring Input	Вход контроля тока (токового контроля)
RREF	10	Reference Resistor	Опорный резистор
SGND	11	Signal Ground	Сигнальная земля
CF	12	Oscillator Capacitor	Конденсатор генератора
RHV	13	Start-Up Resistor / Feed-Forward Resistor	Пусковой резистор
CI	14	Integrating Capacitor	Интегрирующий конденсатор

ЭПРА работоспособен в диапазоне напряжений сети 185—265 В при частоте 50—60 Гц. Автоматическое управление поддерживает мощность горения лампы в пределах 47,6—50,3 Вт при изменении напряжения сети в пределах 200—260 В. UBA2021 управляет работой мощных полевых МОП-транзисторов PNH3N50E, являющихся ключами полумостового инвертора, который питается от сети с номинальным напряжением 230 В и частотой 50—60 Гц. При этом обеспечивается необходимый сдвиг уровней питания полевых транзисторов, осуществляющий защиту от емкостного режима работы.

Основными достоинствами этого изделия являются малое число внешних компонентов и низкая стоимость благодаря применению ИМС UBA2021, которая способна обеспечить максимальную гибкость разработки при минимальном числе периферийных элементов.

Рассмотрим работу схемы более подробно. Напряжение сети переменного тока с помощью мостового выпрямителя на четырех диодах (или диодного моста) и сглаживающего конденсатора преобразуется в напряжение постоянного тока (величиной 310 В), питающее полумостовой инвертор. Помехоподавляющий сетевой фильтр препятствует проникновению помех в сеть.

Полумостовой инвертор относится к группе высокочастотных резонансных преобразователей напряжения, которые удобны для управления газоразрядными лампами. Используемый принцип переключения двух мощных МОП-транзисторов при нулевом напряжении позволяет уменьшить потери на их переключение и обеспечивает высокий КПД балласта.

После подачи сетевого напряжения люминесцентная лампа сначала подогревается. Это называется мягким пуском и обеспечивает надежную и долговечную работу лампы. Величина тока подогрева регулируется микросхемой UBA2021. Этот ток, проходящий через нити накала лампы, разогревает электроды лампы до температуры, обеспечивающей достаточную эмиссию электронов. Прогрев позволяет уменьшить напряжение зажигания лампы, что снижает ударные электрические нагрузки на элементы схемы.

После включения выпрямленное напряжение сети поступает на буферный конденсатор С4 через резистор R1 (рис. 3.31), ограничивающий бросок тока. Конденсатор сглаживает пульсации напряжения с удвоенной частотой сети. Полученное высоковольтное напряжение VHV (310 В) постоянного тока является питающим для полумостового инвертора, в состав силовых компонентов которого входят транзисторы VT1, VT2, катушка L1, конденсаторы С5, С6, С7 и лампа EL1.

На этапе пуска ток от высоковольтного конденсатора С4 проходит через резистор R2, нить накала лампы, резистор R7, выводы 13 и 5 микросхемы UBA2021, соединенные между собой в период пуска внутренним ключом, и заряжает конденсаторы низковольтного питания С9, С10 и С13. Как только напряжение питания VS на С13 достигнет величины 5,5 В, происходит переключение UBA2021, в результате которого транзистор VT2 открывается, а транзистор VT1 запирается.

Это позволяет зарядиться пусковому конденсатору С12 через внутреннюю цепь микросхемы. Напряжение питания VS продолжает увеличиваться, и при $VS > 12$ В внутренний генератор микросхемы начинает генерировать. Величина тока потребления ИМС внутренне фиксируется на уровне порядка 14 мА.

Далее происходит переход к этапу подогрева. При отсутствии лампы пуск автоматически блокируется, т. к. в этом случае оказывается разорванной цепь зарядки пускового конденсатора.

На этапе подогрева МОП-транзисторы VT1 и VT2 поочередно переводятся в проводящее состояние. Это генерирует переменное напряжение прямоугольной формы относительно средней точки полумоста с амплитудой VHV. Стартовая частота колебаний составляет 98 кГц. В этих условиях цепь, состоящая из С8, VD5, VD6, С9 и С10, оказывается способной выполнить функцию источника низковольтного питания, которая во время пуска обеспечивалась током через вывод 13 ИМС.

В течение интервала времени, примерно равного 1,8 с (время подогрева t_{PRE}), продолжительность которого определяется номиналами С16 и R8, система находится в режиме подогрева. При этом через нити накала лампы проходит ток контролируемой величины, что позволяет оптимальным образом разогреть оба электрода лампы. Нагретые электроды эмитируют (испускают) в лампу большое число электронов, и в таком состоянии для ее зажигания требуются значительно меньшие напряжения, что минимизирует ударные электрические нагрузки на элементы схемы и лампу в момент зажигания. Подогрев электродов весьма важен для обеспечения большого срока службы лампы (порядка 20 тыс. ч).

После возникновения генерации небольшой переменный ток начинает протекать от средней точки полумоста через нити накала лампы, L1 и С7. Частота колебаний постепенно снижается, что приводит к соответствующему росту величины тока. Скорость снижения частоты определяется емкостью конденсатора С14 и внутренним источником тока ИМС. Частота прекращает падать, как только будет достигнуто опреде-

ленное значение напряжения переменного тока на резисторах R5 и R6, являющихся датчиками тока подогрева.

В течение всего этапа подогрева частота работы полумостового инвертора остается выше резонансной частоты цепочки L1C7 (55,6 кГц), и в силу этого напряжение на C7 еще мало для зажигания лампы.



Совет.

Весьма важно удержать это напряжение достаточно небольшим: ведь преждевременное, так называемое холодное, зажигание приводит к быстрому износу электродов лампы.

Величина индуктивности балластной катушки L1 определяется необходимым током через лампу, емкостью конденсатора поджига C7 и рабочей частотой в режиме горения. Минимальная величина емкости C7 определяется индуктивностью L1, величиной напряжения на лампе, не приводящего к зажиганию, при данном токе подогрева и минимальным напряжением сети. В результате оптимальным для подогрева оказывается значение емкости C7, равное 8,2 нФ.

После окончания этапа подогрева UBA2021 возобновляет дальнейшее снижение частоты переключений полумоста вплоть до низшей частоты f_B (39 кГц). Однако теперь понижение частоты осуществляется гораздо медленнее, чем это происходило в стадии подогрева. Частота переключений смещается к резонансной частоте последовательной цепочки, состоящей из индуктивности L1 и суммарной емкости конденсатора C7 и электродов лампы (55,6 кГц), причем сопротивления блокирующих постоянный ток конденсаторов C5 и C6 достаточно малы.

Максимальная величина напряжения зажигания в наихудшем случае (когда и светильник, и схема ЭПРА подключены к защитному заземлению сети) для лампы TL-D 58W при низких температурах составляет примерно 600 В.

Сочетание балластной катушки индуктивности L1 и конденсатора поджига C7 подобрано таким образом, чтобы напряжение на лампе могло превысить эти необходимые для надежного зажигания 600 В. Величина напряжения зажигания определяет максимальное значение емкости C7 при заданной индуктивности L1, выбранной исходя из нижней частоты f_B UBA2021. Нижняя частота f_B задается величинами R8, C15. Максимально возможная продолжительность этапа зажигания t_{IGN} равна 1,7 с (составляет 15/16 от t_{PRE}); она устанавливается подбором C16 и R8.

Предположим, что лампа зажглась в ходе понижения частоты; тогда частота уменьшается до минимального значения f_B . UBA2021 может осуществить переход к этапу горения двумя путями:

- ♦ при снижении частоты до f_B ;
- ♦ если частота f_B не достигнута, но переход происходит по истечении максимально возможной продолжительности этапа зажигания t_{IGN} .

На этапе горения частота колебаний в схеме обычно снижается до f_B (39 кГц), которая может использоваться в качестве номинальной рабочей частоты. Однако, в силу применения в ЭПРА автоматического управления, частота колебаний зависит от величины тока, протекающего через вывод 13 (вывод RHV) ИМС UBA2021. Автоматическое управление начинает функционировать после достижения f_B . Автоматическое управление в значительной степени стабилизирует излучаемый лампой световой поток в широком диапазоне вариаций напряжения сети.

Во время этапа пуска конденсаторы низковольтного питания C9, C10 и C13 заряжаются током, протекающим от высоковольтного конденсатора C4 через R2, нить накала лампы, R7 и внутренне соединенные выводы 13 и 5 UBA2021.

На этапе горения происходит перекоммутация. Вместо вывода 5 к выводу 13 оказывается подключенным вывод 8. Теперь ток, протекающий через резисторы R2 и R7, используется в качестве информационного параметра в системе автоматического управления частотой переключений силового инвертора, так как сила этого тока пропорциональна уровню выпрямленного напряжения сети. Пульсации с удвоенной частотой сети (100—120 Гц) фильтруются конденсатором C16. В результате излучаемый лампой световой поток остается почти постоянным при изменении напряжения сети в пределах от 200 до 260 В.

На частотах выше 10 кГц лампа может рассматриваться как резистивная нагрузка. Светоотдача возбуждаемых на частотах выше 10 кГц трубчатых ламп существенно лучше, чем при их питании с частотой 50—60 Гц. Это означает, что лампа TL-D 58W при высокочастотном питании мощностью 50 Вт излучает такой же световой поток, как и TL-D 58W при мощности питания 58 Вт на частоте 50—60 Гц. Рабочая точка установившегося состояния для подключенной к ЭПРА TL-D 58W характеризуется напряжением на лампе 110 В и током через нее 455 мА, что соответствует мощности питания 50 Вт. Величина индуктивности балластной катушки L1 определяется рабочей точкой лампы, емкостью конденсатора поджига C7 и рабочей частотой, которая примерно равна 45 кГц при номинальном напряжении сети 230 В.

Желаемая мощность возбуждения лампы может быть достигнута при различных сочетаниях величин индуктивности $L1$ и емкости $C7$. Выбор конкретного сочетания зависит от таких факторов, как режим подогрева, минимально необходимое напряжение зажигания и допуски на параметры компонентов схемы. В большинстве случаев оптимальным является сочетание дроссельной катушки $L1$ индуктивностью 1 мГн и конденсатора поджига $C7$ емкостью 8200 пФ.

Для предохранения элементов силовой цепи от значительных перегрузок в микросхему встроена функция защиты от емкостного режима работы, которая активна на этапах зажигания и горения. Микросхема UBA2021 проверяет величину падения напряжения на $R5$ и $R6$ во время включения транзистора $VT2$ в каждом цикле работы инвертора.

Если это напряжение оказывается меньше 20 мВ, что означает, что схема работает в емкостном режиме, UBA2021 начинает повышать частоту переключений с гораздо большей скоростью, чем она ее снижала на этапах подогрева и зажигания. В итоге частота переключений превысит резонансную частоту. При исчезновении признаков емкостного режима частота переключений вновь уменьшается до необходимой.

Защита при удалении лампы обеспечена способом получения низковольтного напряжения питания для UBA2021. При удалении лампы становится нулевым напряжение переменного тока на конденсаторе $C6$, что приводит к исчезновению низковольтного питания ИМС. После замены лампы без отключения ЭПРА работа схемы возобновится с этапа пуска. И, наконец, пуск ЭПРА невозможен при отсутствии лампы — ведь в этом случае пусковой резистор $R7$ оказывается отключенным от высоковольтного напряжения.

В ЭПРА установлен электролитический конденсатор $C4$ типа ASH-ELB 043. Эти конденсаторы, специально разработанные для применения в электронных схемах питания люминесцентных ламп, характеризуются большим сроком службы (15000 ч) при температурах до 85 °С и выдерживают значительные пульсации тока.

Силовыми ключами в инверторе являются полевые МОП-транзисторы типа PNH3N50E (индекс E свидетельствует о повышенной надежности прибора). Благодаря использованию принципа переключения при нулевом напряжении потери на переключение МОП-транзисторов минимизированы. Нагрев каждого из транзисторов вызывается только потерями в проводящем состоянии, и степень повышения температуры зависит от сопротивления открытого канала «сток-исток» $R_{DS\ on}$ и теплового сопротивления корпуса R_{in} .

Продолжительности этапов подогрева и зажигания достаточно малы, в силу чего выбор типа МОП-транзистора был обусловлен величиной тока, протекающего через балластную катушку индуктивности в режиме горения лампы. РНХ3N50Е характеризуются максимальным постоянным напряжением «сток-исток» 500 В и сопротивлением открытого канала менее 3 Ом.

Конструкция балластной катушки L1 с индуктивностью 1 мГн, выдерживающей пиковые токи зажигания до 2,5 А, позволяет применять ее в схемах без защитного заземления. Поджигающим в ЭПРА является конденсатор C7 с емкостью 8200 пФ типа КР/ММКР376. Этот тип конденсаторов разработан для применения в цепях с высокими скоростями нарастания напряжения и большой частотой повторения. Установленный конденсатор способен выдержать размах напряжения до 1700 В (600 В действующего значения синусоидального напряжения). Конденсатор можно заменить на полипропиленовый К78-2 на 1600 В. Рекомендуемые типы электронных компонентов ЭПРА приведены в табл. 3.6. А в табл. 3.7 приведены энергетические характеристики ЭПРА на микросхеме UBA2021.

Рекомендуемые типы электронных компонентов ЭПРА

Таблица 3.6

Обозначение	Номинал	Напряжение	Тип
C1	0,22 мкФ	275 В	МКР336 2, специальный помехоподавляющий, для сети 220 В
C2, C3	2200 пФ	250 В	МКР336 6
C4	33 мкФ	450 В	ASH043
C5, C6	0,047 мкФ	250 В	МКР379
C7	8200 пФ	1700 В	КР/ММКР376 (или полипропиленовый К78-2)
C8	0,015 мкФ	250 В	МКТ370
C9, C10, C13	1 мкФ	63 В	МКТ370
C11	1 мкФ	630 В	МКТ347
C12, C14	0,1 мкФ	63 В	МКТ70
C15	110 пФ	100 В	Class 1, 2 %, NPO
C16	0,27 мкФ	63 В	МКТ 370
R1	4,7 Ом		AC04 (керамический проволочный)
R2, R7	220 кОм	350 В	SFR25H (стандартный пленочный 0,33 Вт)
R3	470 к	350 В	SFR25H
R5, R6	1,2 Ом	350 В	SFR25H
R8	30,1 кОм	350 В	MPS25 (прецизионный пленочный)
L1	1 мГн		EF25/13/7
T1	27 мГн		CU15d3/1
DA1	UBA2021		SOT27 (DIP-14)
VD1—VD4	BYW54		SOD57
VD5, VD6	1N4148		SOD27 (DO-35)
VT1, VT2	PHX3N50E		SOT186A (TO-220)

Энергетические характеристики ЭПРА

Таблица 3.7

Напряжение питания, В	200	210	220	230	240	250	260
Энергия, потребляемая от сети, Вт	52,0	53,5	54,4	55,0	55,4	55,6	55,8
Энергия, потребляемая лампой, Вт	47,6	48,9	49,6	50,0	50,2	50,3	50,3
Коэффициент полезного действия, %	92	91	91	91	91	91	90

ЭПРА с использованием микросхемы UBA2021 для питания КЛЛ

Принципиальная электрическая схема ЭПРА с использованием UBA2021 для питания компактной люминесцентной лампы мощностью 13 Вт изображена на рис. 3.33. Широкое использование КЛЛ привело к необходимости создания еще одной микросхемы.

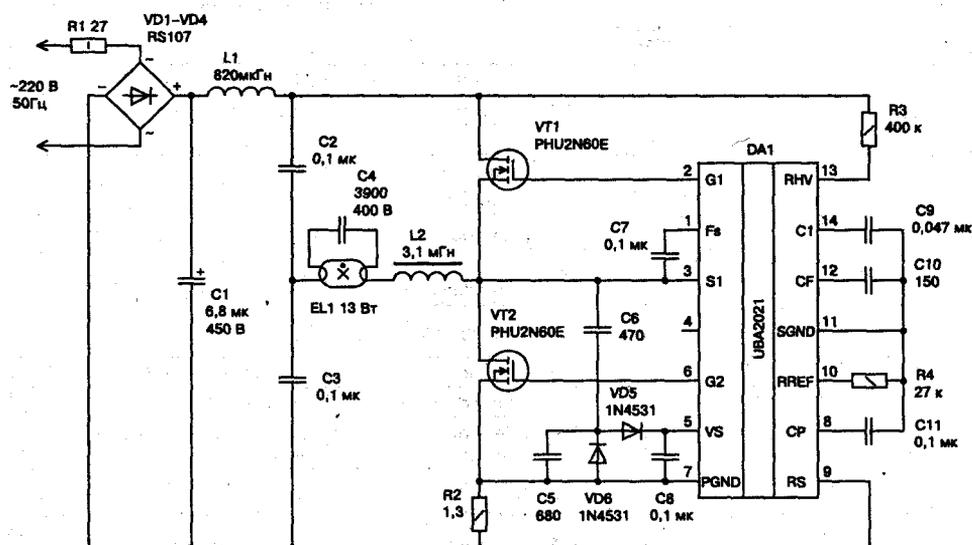


Рис. 3.33. Принципиальная электрическая схема ЭПРА мощностью 13 Вт

Специализированная микросхема UBA2024 является одной из последних разработок фирмы PHILIPS. Использование UBA2024 позволяет создать действительно сверхминиатюрные электронные балласты для компактных люминесцентных ламп мощностью 3—15 Вт (с максимальным током лампы до 180 мА).

Отличительные особенности UBA2024:

- ♦ интегрированные в микросхему силовые МОП-транзисторы, соединенные в полумостовую схему инвертора;
- ♦ интегрированный диод цепи вольтодобавки (bootstrap);

- ♦ наличие внутреннего низковольтного источника питания;
- ♦ максимальное (кратковременное) рабочее напряжение 550 В;
- ♦ регулируемое время прогрева и поджига («мягкий» и «горячий» старт);
- ♦ возможность управления частотой задающего генератора;
- ♦ минимальное количество внешних элементов.

Структурная схема UBA2024 показана на рис. 3.34.

Микросхема выпускается в корпусах DIP-8 и SO-14. Назначение выводов микросхемы UBA2024 приведено в табл. 3.8.

Назначение выводов микросхемы UBA2024

Таблица 3.8

Обозначение	Номер вывода для корпуса		Назначение вывода	
	UBA2024T (SO-14)	UBA2024P (DIP-8)		
SGND	1	–	Signal ground	Общий сигнальный
SGND	2	–	Signal ground	Общий сигнальный
SGND	3	2	Signal ground	Общий сигнальный
HV	4	6	High-voltage supply	Высоковольтное питание
SGND	5	–	Signal ground	Общий сигнальный
VDD	6	7	Internal low-voltage supply output	Выход внутреннего источника питания
RC	7	8	Internal oscillator input	Вход генератора
SW	8	1	Sweep timing input	Вход таймера прогрева и поджига
SGND	9	–	Signal ground	Общий сигнальный
SGND	10	–	Signal ground	Общий сигнальный
FS	11	3	High-side floating supply output	Плавающее питание драйвера верхнего силового ключа
PGND	12	4	Power ground	Общий мощный
SGND	13	–	Signal ground	Общий сигнальный
OUT	14	5	Half-bridge output	Выход полумоста

ЭПРА для компактной люминесцентной лампы (КЛЛ) мощностью 11 Вт

Принципиальная электрическая схема ЭПРА для компактной люминесцентной лампы (КЛЛ) мощностью 11 Вт изображена на рис. 3.35. Рисунок печатной платы (диаметр платы 35 мм) и расположение элементов ЭПРА для компактной ЛЛ мощностью 11 Вт показаны на рис. 3.36.

Типономиналы элементов для КЛЛ различной мощности приведены в табл. 3.9. В табл. 3.10 приведены соотношения величин C_{BUF} и R_{FUS} для ламп разной мощности.

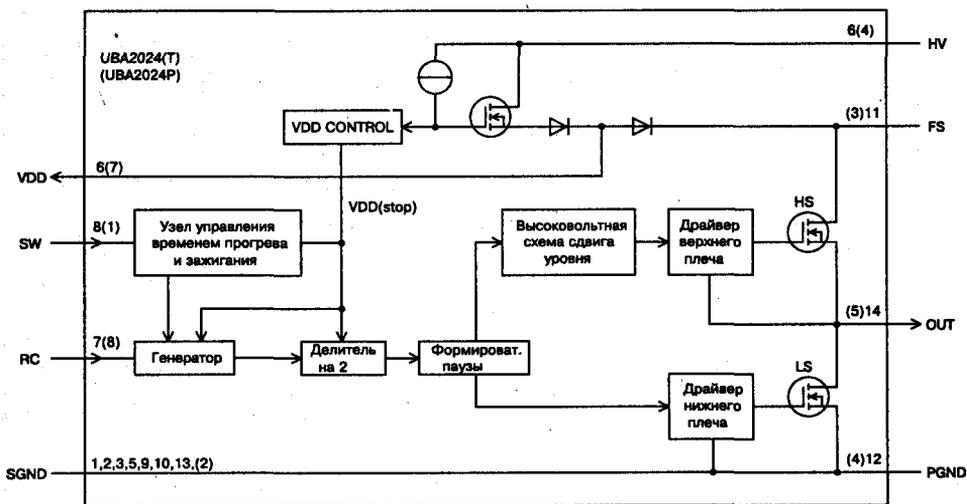


Рис. 3.34. Структурная схема UBA2024

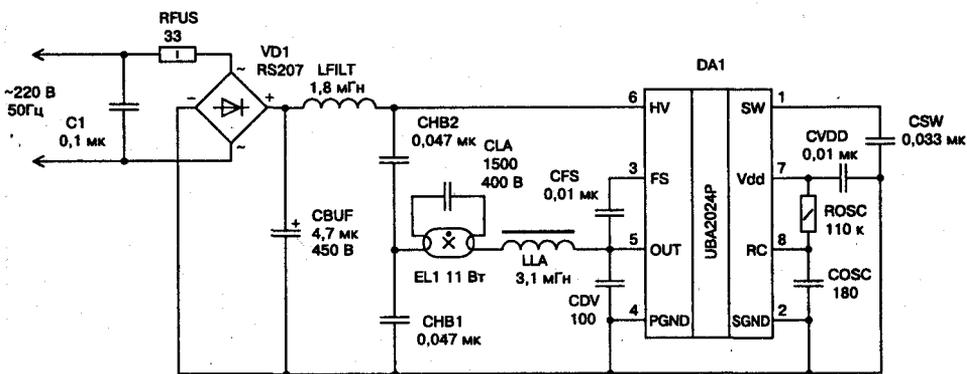


Рис. 3.35. Принципиальная электрическая схема ЭПРА для КЛЛ мощностью 11 Вт

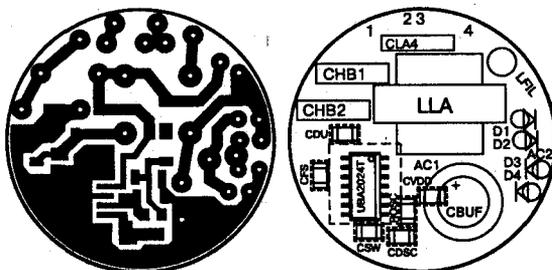


Рис. 3.36. Печатная плата ЭПРА и расположение элементов

Элемент	Назначение	Примечания	Номинал для ламп с мощностью, Вт				
			3	8	11	13	15
R_{FUS}	Токоограничительный резистор	Мощный защитный	47 Ом	39 Ом	33 Ом	27 Ом	27 Ом
D1...D4	Диодный мост		* BYD13M	1N4007	1N4007	1N4007	1N4007
C_{BUF}	Высоковольтный фильтр питания	Электролитический высокотемпературный (105 °C)	2,2 мкФ, 400 В	3,3 мкФ, 400 В	4,7 мкФ, 400 В	6,8 мкФ, 400 В	6,8 мкФ, 400 В
L_{FILT}	Помехоподавляющая индуктивность (дроссель)	Аксиальные (осевые) типа EC24, КИГ	4,7 мГн	2,2 мГн	2,7 мГн	3,9 мГн	3,3 мГн
C_{HB1}, C_{HB2}	Полумостовые конденсаторы	–	0,047 мкФ, 200 В	0,047 мкФ, 200 В	0,047 мкФ, 200 В	0,033 мкФ, 200 В	0,047 мкФ, 200 В
C_{LA}	Конденсатор лампы	Полипропиленовый K78-2	1000 пФ, 1 кВ	1500 пФ, 400 В	1500 пФ, 400 В	1500 пФ, 400 В	1800 пФ, 400 В
L_{LA}	Дроссель лампы	E-16-Core	8,2 мГн	3,1 мГн	3,1 мГн	3,5 мГн	3,1 мГн
C_{OV}	Ограничительный	–	100 пФ, 500 В	220 пФ, 500 В	220 пФ, 500 В	100 пФ, 500 В	220 пФ, 500 В
C_{FS}	Фильтр плавающего источника питания	–	0,01 мкФ, 50 В	0,01 мкФ, 50 В	0,01 мкФ, 50 В	0,01 мкФ, 50 В	0,01 мкФ, 50 В
C_{VDD}	Фильтр низковольтного источника питания	–	0,01 мкФ, 50 В	0,01 мкФ, 50 В	0,01 мкФ, 50 В	0,01 мкФ, 50 В	0,01 мкФ, 50 В
C_{OSC}	Конденсатор генератора	–	270 пФ, 50 В	180 пФ, 50 В	180 пФ, 50 В	180 пФ, 50 В	180 пФ, 50 В
R_{OSC}	Резистор генератора	–	120 кОм, 125 Вт	110 кОм, 0,125 Вт	120 кОм, 0,125 Вт	120 кОм, 0,125 Вт	130 кОм, 0,125 Вт
C_{SW}	Конденсатор задающий время прогрева	–	0,22 мкФ, 6 В	0,033 мкФ, 50 В	0,033 мкФ, 50 В	0,33 мкФ, 16 В	0,068 мкФ, 50 В

Соотношения величин $C_{\text{ВУФ}}$ и R_{FUS} для ламп разной мощности

Таблица 3.10

Мощность лампы, Вт	$C_{\text{ВУФ}}$, мкФ / U_{max} , В	R_{FUS} , Ом (P_{min} , Вт)
≤ 5	2,2 / 400	47 (0,25 / 23)*
6—8	3,3 / 400	39 (0,25 / 23)*
9—11	4,7 / 385	33 (0,5 / 32)*
12—15	6,8 / 385	27 (0,5 / 47)*

Примечание к табл. 3.10.

* Долговременная мощность / кратковременная мощность не более 20 мс.

3.3.9. Электронные балласты на дискретных элементах

Достоинства

В недорогих электронных балластах практически повсеместно используются схемы полумостового автогенераторного инвертора (с самовозбуждением), реализованного на дискретных элементах. Достоинством таких электронных балластов является их низкая себестоимость. В качестве силовых ключей чаще всего здесь используются не полевые, а специальные биполярные транзисторы (сокращенно БМТ — биполярные мощные транзисторы).

Вопросы терминологии

В зарубежной технической литературе для обозначения транзисторов различных типов используются аббревиатуры:

- ♦ IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor);
- ♦ MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor);
- ♦ BJT (Bipolar Junction Transistor);
- ♦ BPT (Bipolar Power Transistor).

Соответствующие отечественные аналоги:

- ♦ БТИЗ (биполярный транзистор с изолированным затвором);
- ♦ МОП ПТ (полевые транзисторы структуры металл-окисел-полупроводник);
- ♦ БТ (биполярные транзисторы);
- ♦ БМТ (биполярные мощные транзисторы).

Технические параметры БМТ, используемых в электронных балластах

Технология производства эффективных БМТ была разработана несколько лет назад фирмой MOTOROLA и получила название H2BIP (*High Gain, High Frequency Bipolar Transistors*).



Примечание.

Суть этой новой технологии состоит в том, что на одной полупроводниковой структуре, помимо основного высоковольтного БМТ, создаются активная схема недонасыщения этого транзистора и интегрированный антипараллельный диод между его коллектором и эмиттером.

Созданные по данной технологии БМТ характеризуются лучшими среди биполярных транзисторов сочетаниями статических, динамических и энергетических показателей, имеют при этом незначительный (не более $\pm 0,15$ мкс) разброс по времени рассасывания t_s . Приборы этой серии типа BUL45D2, BUL38D, BUL39D, MJE18004D2 и популярные MJE13003, MJE13005, MJE13007, MJE13009 успешно используются в электронных балластах (которые являются на сегодняшний день перспективными изделиями массового спроса).

БМТ типа MJE13003, MJE13005, MJE13007, MJE13009 выпускают многие производители, поэтому вместо MJE могут присутствовать обозначения ST, PHE, KSE, HA, MJF и др.

В табл. 3.11 приведены технические параметры БМТ, наиболее часто используемых в электронных балластах.

Особенности схемотехники

Сравнительный анализ режимов выходных ключей типового электронного балласта, собранного по полумостовой схеме и управляющего работой двух люминесцентных ламп мощностью по 36—40 Вт при частоте коммутации 30—50 кГц, показывает, что уровень полных потерь мощности на ключах при использовании БМТ типа BUL45D2, так же, как и MJE13005 фирмы MOTOROLA, составляет очень незначительную величину (примерно по 0,5 Вт на транзистор).

Примерно такие же показатели получаются и при использовании в данных блоках отечественных БМТ типа КТ8136А и КТ8181А производства ОАО «ЭЛЕКТРОНПРИБОР» (ЗАО «ФЗМТ», г. Фрязино). В

Технические параметры БМТ, используемых в электронных балластах

Таблица 3.11

Тип	Граничное напряжение	Максимальное напряжение «коллектор-база»	Максимальное напряжение «эмиттер-база»	Максимальный постоянный ток коллектора	Максимальный импульсный ток коллектора	Статический коэффициент передачи тока	Напряжение насыщения «коллектор-эмиттер»	Напряжение насыщения «база-эмиттер»	Время рассасывания	Время спада	Максимальная постоянная рассеиваемая мощность	Наличие диода «э-к»
	$V_{сво\text{ }э\text{ }э\text{ }э}$, В	$V_{сво\text{ }э}$, В	$V_{э\text{ }э\text{ }э}$, В	$I_{с\text{ }ма\text{ }э}$, А	$I_{с\text{ }ма\text{ }э}$, А							
KT8175A	400	700	9	1,5	3	20	1	1,2	2	0,25	25	-
KT8181A	400	700	9	4	8	40	1	1,3	1,7	0,3	50	-
KT8182A	400	700	9	8	16	20	1	1,2	1,8	0,3	80	-
KT8108A	500	850	5	5	7	30	1	1,1	3,5	0,25	70	-
KT8136A	450	600	5	7	14	40	1	1,3	2,5	0,2	60	-
KT859AM1	400	800	10	3	4	20	1	1,1	2	0,35	40	-
MJE13003	400	700	9	1,5	3	8—40	0,5—1	1—1,1	2	0,4	40	-
MJE13005	400	700	9	4	8	40	0,5—1	1,2—1,5	1,7	0,4	75	-
MJE13007	400	700	9	8	16	20—40	0,5—1	1,2—1,5	1,7	0,4	80	-
MJE13009	400	700	9	12	24	20—40	0,5—1	1,2—1,5	1,7	0,4	100	-
BUL45D2	400	700	12—14	5	10	20—30	0,28—0,62	0,8	0,8	0,15	75	+
MJE 18002D2	450	1000	12	2	5	20	0,4	0,8	0,6	0,13	50	+

случае использования в подобных балластах эквивалентных по току и напряжению MOSFET типа IRF830 или «ультрабыстрых» IGBT типа IRGB410U фирмы IR уровень потерь мощности на этих МТ оказывается в 1,5—2 раза выше (0,8—1,0 Вт на транзистор).

БМТ также заметно дешевле своих конкурирующих прототипов, что принципиально важно для получения небольшой итоговой цены электронных балластов, так как они направлены на замену в светильниках с ЛЛ неэффективных, но дешевых электромеханических пускорегулирующих аппаратов (дросселей со стартером), используемых сейчас в светотехнике.

Электронный балласт, построенный по принципу полумостового инвертора с самовозбуждением

Принципиальная схема варианта электронного балласта, построенного по принципу полумостового инвертора с самовозбуждением, показана на рис. 3.37.

Как видно из схемы, обмотка I трансформатора T1 включена в диагональ полумоста, образованного двумя последовательно включенными силовыми БМТ VT1 и VT2. Последовательно с обмоткой I включен токоограничительный дроссель L2, который с конденсатором C5 образует резонансный контур. Резонансная частота контура определяется по известной нам формуле

$$F_6 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L2 \cdot C5}}, \text{ кГц.}$$

В момент подачи напряжения на преобразователь и после его запуска в контуре L2, C5, EL1 возбуждается резонанс, импульсное значение напряжения которого составляет около 250—300 В (в зависимости от лампы), что вполне достаточно для ее зажигания.

После зажигания ток, который проходит через лампу, резко уменьшает добротность контура, шунтируя C5. Преобразователь работает на высокой частоте, и индуктивное сопротивление дросселя L2 ограничивает ток лампы.

Из особенностей работы преобразователя можно отметить узел автозапуска на симметричном динисторе VS1 и токовое управление коммутацией силовых транзисторов.

Цепь автозапуска необходима, поскольку генератор с обратной связью по току сам не запускается.

После включения питания конденсатор C3 заряжается через резисторы R2, R3. Когда напряжение на C3 достигает 30 В, симметричный

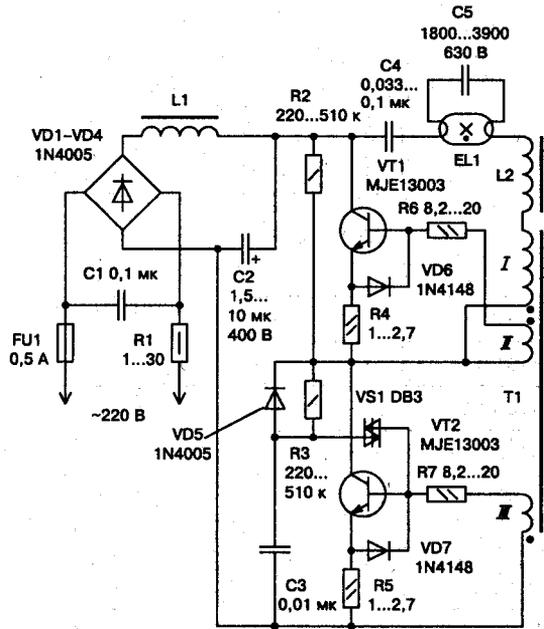


Рис. 3.37. Принципиальная схема полумостового инвертора с самовозбуждением на MJE13003

динистор VS1 пробивается, и импульс разряда конденсатора C3 открывает транзистор VT2, в результате чего запускается генератор. С помощью диода VD5 в процессе работы генератора C3 поддерживают в разряженном состоянии.

Открытие VT2 и запуск генератора приводит к тому, что в обмотках трансформатора T1 наводится ЭДС, полярность которой определяется направлением их намотки. Полярность ЭДС в базовых обмотках обратных связей I и II противоположны. Поэтому открытие и закрытие силовых транзисторов происходит попеременно в момент насыщения сердечника трансформатора T1.

Когда насыщается токовый трансформатор, через ранее открытый транзистор продолжает протекать ток. Этот ток является током намагничивания обмотки токового трансформатора, и пока он протекает, напряжения на всех его обмотках равны нулю. Начинается процесс рассасывания в транзисторе, но через него все еще протекает ток. В результате, пока процесс рассасывания не закончится, через обмотку трансформатора течет ток и поддерживает нулевым напряжение на его обмотках.

Когда процесс рассасывания закончится, транзистор начнет закрываться. Но теперь нужно время на выход из насыщения сердечника трансформатора. Оно, хоть и не большое, но есть. За это время открытый транзистор почти закроется. И когда трансформатор тока выйдет из насыщения, только тогда напряжения на обмотках трансформатора могут вновь появиться, но уже с другой полярностью, вызывая форсированное дозакрывание открытого транзистора и открывая закрытый. А у закрытого транзистора есть еще время задержки включения...

В результате, в инверторах с самовозбуждением, да еще и с обратной связью по току, сквозной ток практически не возникает. Конечно, при условии правильного расчета трансформатора тока. При неправильном расчете сквозной ток хоть и есть, но он не опасен, проявляется в виде выброса тока при включении транзистора и вызывает только дополнительные динамические потери.

Чем выше скорость переключения транзистора, тем меньше динамические потери и нагрев транзистора, с сохранением порядка при переключении — следующий откроется только тогда, когда закроется предыдущий.

Элементы C1, R1 и L1 предотвращают распространение по электросети радиопомех, возникающих при работе генератора. Резистор R1 также ограничивает начальный токовый импульс, возникающий при заряде электролитического конденсатора C2.

**Примечание.**

Не стоит удивляться разбросу номиналов элементов, указанных на схеме, — он реально существует для ламп различной мощности и разных производителей, конечно, с учетом того, что парные элементы (например, резисторы R2 и R3) имеют одинаковые номиналы.

Это же касается и диодов с транзисторами — на схеме указаны лишь наиболее часто встречающиеся типы. Дроссель L2 собран на миниатюрном Ш-образном магнитопроводе из феррита с наружными размерами 10—15 мм, с небольшим зазором. Его обмотка содержит 240—350 витков обмоточного провода диаметром 0,2 мм.

Трансформатор T1 выполнен на кольцевом ферритовом магнитопроводе наружным диаметром 8—10 мм и высотой 3—5 мм:

- ♦ первичная обмотка (I) содержит 6—10 витков;
- ♦ обмотки II и III — по 2—3 витка, причем провод может быть как обмоточным диаметром 0,3—0,4 мм, так и обычным монтажным.

Дроссель L1 — полтора-два десятка витков обмоточного провода диаметром 0,5 мм, намотанных на небольшом ферритовом стержне. Рабочая частота генератора определяется, в основном, параметрами трансформатора T1 и при номинальной нагрузке равна 40—60 кГц.

Электронный балласт без цепи автозапуска для самых маломощных КЛЛ

Существует еще один вариант преобразователя, применяемый чаще всего в самых маломощных КЛЛ. Внешний вид платы такого балласта показан на рис. 3.38. Схема его приведена на рис. 3.39.

Главное отличие от предыдущего варианта — отсутствие цепи автозапуска. Режим самовозбуждения создается здесь вследствие приоткрывания транзистора VT2 током через резисторы R2 и R3. Запуску так же способствует конденсатор C5, исключая шунтирующее влияние по постоянному току базовой обмотки на ток смещения транзистора. Если бы конденсатора не было, то ток, протекающий через резисторы R2 и R3, не смог бы создать на базе транзистора напряжение смещения, открывающее транзистор VT2. Низкое омическое сопротивление обмотки держало бы транзистор закрытым, не позволяя инвертору запуститься.

После запуска конденсатор уже не мешает, так как по переменному току он имеет низкое сопротивление.

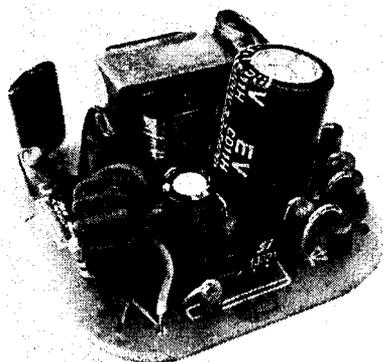


Рис. 3.38. Внешний вид маломощного преобразователя

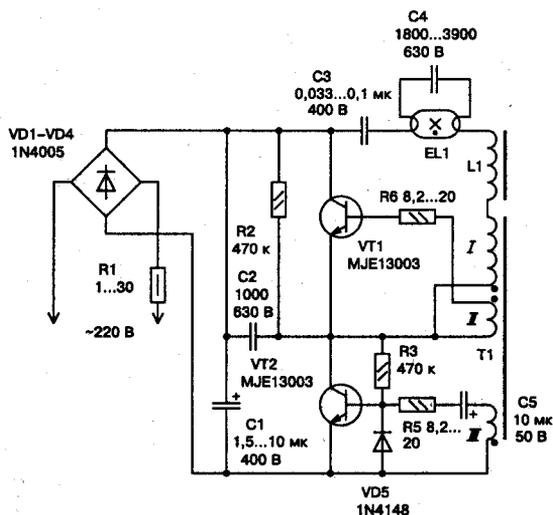


Рис. 3.39. Схема маломощного преобразователя

Электронные балласты, предназначенные для работы с мощными ЛЛ

Следующие варианты электронных балластов предназначены для работы с более мощными ЛЛ, мощность которых от 18 до 36 Вт. Существуют варианты, работающие как на одну, так и на две ЛЛ.

На рис. 3.40 показана принципиальная электрическая схема устройства, а на рис. 3.41 — печатная плата с расположением элементов.



Примечание.

Следует отметить, что в погоне за уменьшением себестоимости электронного балласта китайские производители исключили помехоподавляющий фильтр и предохранитель.

Фильтрующий конденсатор С1 имеет минимальную величину, при которой еще сохраняется работоспособность устройства. Данная схема является классическим примером электронного балласта, наглядно показывающим, как при минимальном количестве недорогих элементов можно заставить светиться ЛЛ.

Надо отметить, что при эксплуатации кольцевой ЛЛ с этим балластом лампа в течении полугода вышла из строя (оборвался один из накалов). Но работоспособность ЛЛ была восстановлена путем установки допол-

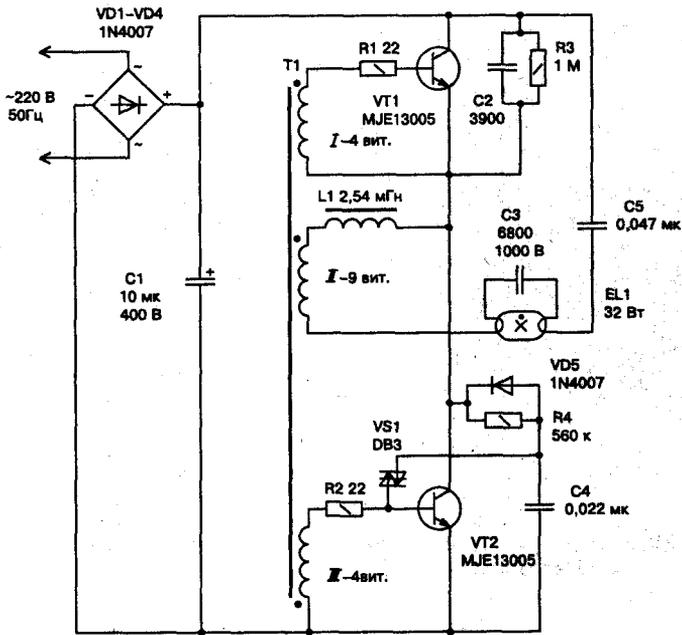


Рис. 3.40. Принципиальная схема электронного балласта LUXOR

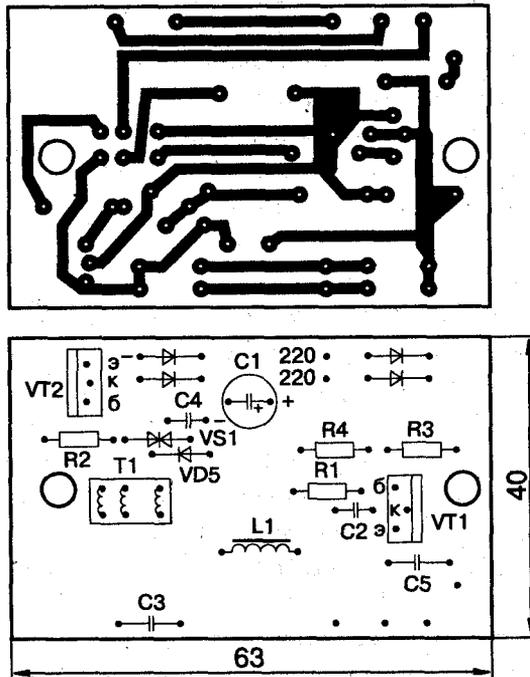


Рис. 3.41. Печатная плата и расположение элементов балласта LUXOR

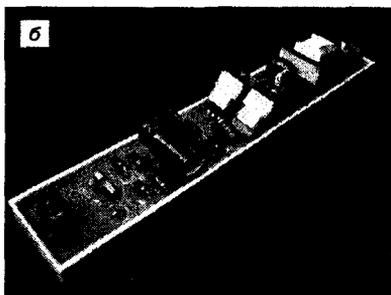
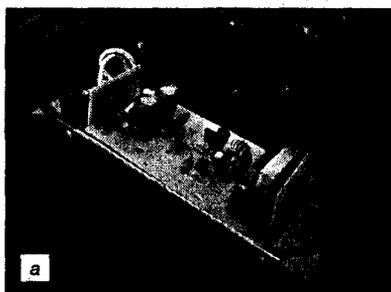


Рис. 3.42. Внешний вид электронных балластов:
а — с маломощными транзисторами;
б — производства фирмы VITO

нительного проволочного резистора 10 Ом 5 Вт вместо оборвавшегося электрода.

Некоторые китайские производители используют в электронных балластах с заявленной мощностью 40 Вт маломощные транзисторы. На рис. 3.42, а показан внешний вид такого балласта.

Электронный балласт фирмы VITO

Более надежным в плане схемотехники является электронный балласт фирмы VITO.

Внешний вид показан на рис. 3.42, б. На плате установлен предохранитель; имеется также место для установки помехоподавляющего фильтра. На рис. 3.43 показана его принципиальная электрическая схема, а на рис. 3.44 — печатная плата с расположением элементов.

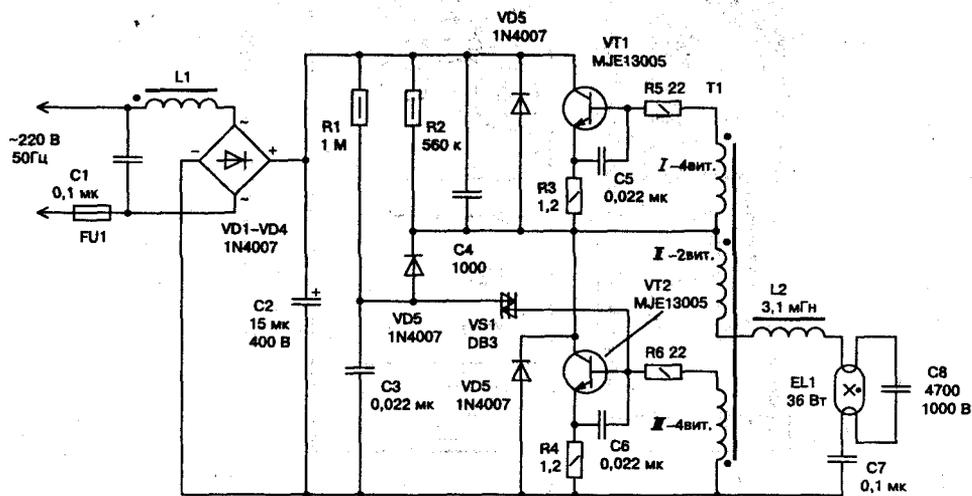


Рис. 3.43. Схема принципиальная электронного балласта производства фирмы VITO

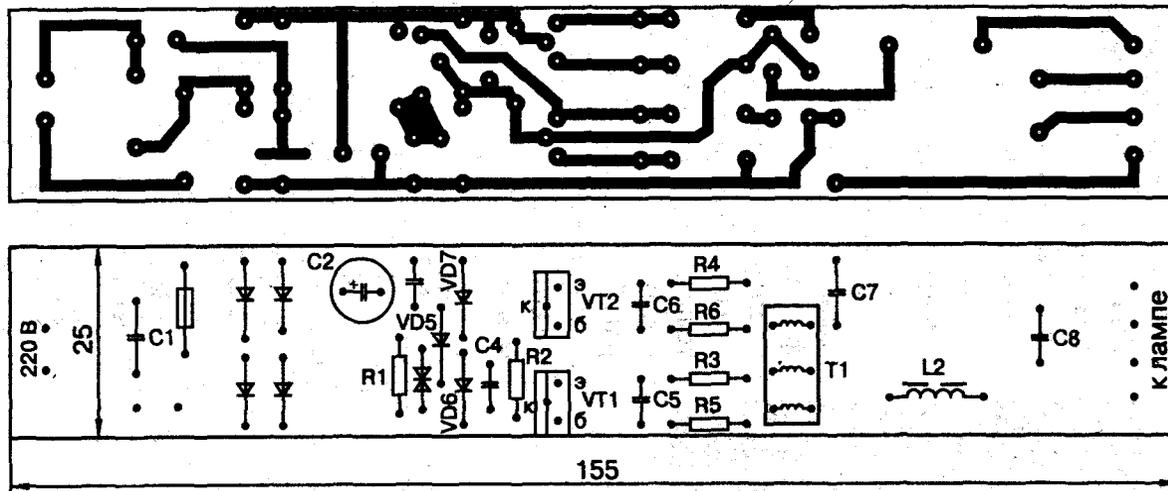


Рис. 3.44. Печатная плата и расположение элементов балласта производства фирмы VITO

Электронный балласт 20-ваттной КЛЛ фирмы OSRAM

Не все фирмы-производители при реализации автогенераторных схем электронных балластов используют в качестве силовых ключей биполярные транзисторы. Например, фирма OSRAM в своей популярной 20-ваттной КЛЛ (внешний вид ее показан на рис. 3.45) типа DULUX EL LONG LIFE использует полевые транзисторы MOSFET 11N50 (12N50).

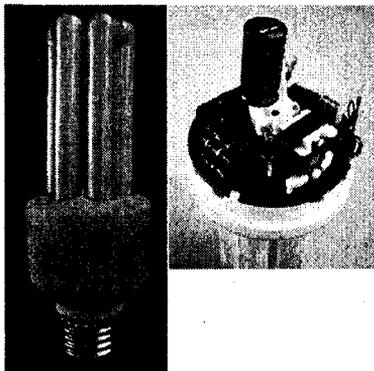


Рис. 3.45. Внешний вид КЛЛ OSRAM DULUX EL LONG LIFE 20 Вт

Эти транзисторы выпускают многие производители, поэтому в полном обозначении могут присутствовать дополнительные буквы, например, IRFS11N50A. На рис. 3.46 показана принципиальная электрическая схема электронного балласта, используемого в КЛЛ OSRAM DULUX EL LONG LIFE.

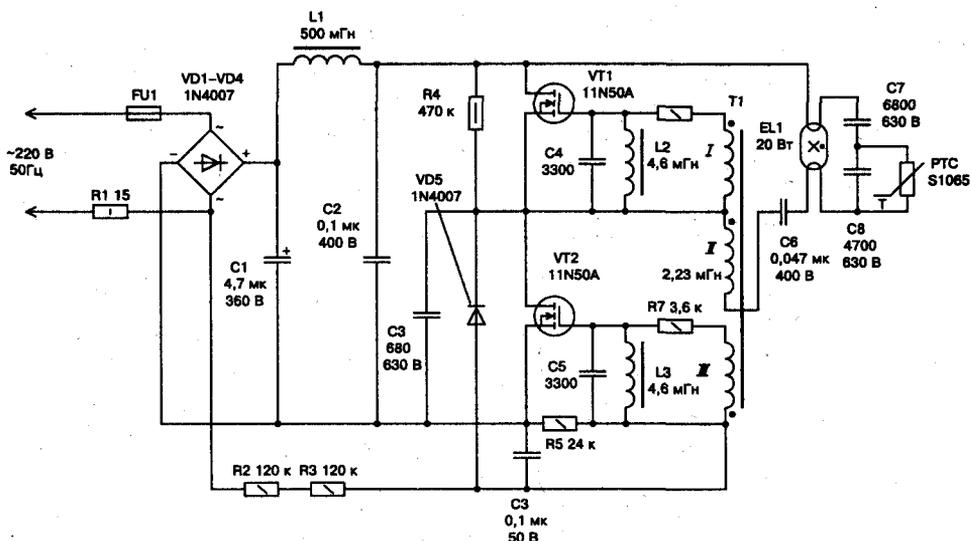


Рис. 3.46. Принципиальная схема электронного балласта КЛЛ OSRAM DULUX EL LONG LIFE

Параметры транзистора IRFS11N50A:

- ♦ постоянный ток стока I_D — 11 А;
- ♦ импульсный ток стока I_{DM} — 44 А;
- ♦ максимальное напряжение сток-исток V_{DS} — 500 В;

- ♦ максимальная рассеиваемая мощность P_D — 170 Вт;
- ♦ диапазон рабочих температур T_j — $-55...+150$ °С;
- ♦ сопротивление в открытом состоянии — 0,52 Ом;
- ♦ общий заряд затвора Q_G — 52 нКл;
- ♦ входная емкость C_{ISS} — 1423 пФ.

Как особенность схемы можно отметить, что трансформатор Т1 выполнен на Ш-образном сердечнике типонаминала Ш5×5 с немагнитным зазором примерно 0,3 мм. Обмотка II, имеющая индуктивность 2,23 мГн, выполняет также функции токоограничительного дросселя для EL1.

В данном электронном балласте, в отличие от китайских собратьев, имеется помехоподавляющий фильтр L1, C2, а также реализован режим предварительного прогрева электродов EL1 с помощью позистора PTC S1065, что положительно отражается на сроке службе КЛЛ. Поэтому присутствие в названии лампы слов LONG LIFE (долгая жизнь) вполне оправдано.

Интересная схема электронный балласт на дискретных элементах для КЛЛ

Интересное схемотехническое решение электронного балласта можно обнаружить в КЛЛ Винницкого завода. Внешний вид Винницкого балласта показан на рис. 3.47. Принципиальная схема показана на рис. 3.48.

Из особенностей схемотехники надо отметить цепочку предварительного прогрева катодов, реализованную на элементах RK, VD8—VD11. Данный балласт собран на качественных импортных элементах, за исключением резистора R1. Т. к. балласт является детищем немецко-украинской кооперации, то решили использовать резистор МЛТ-1.

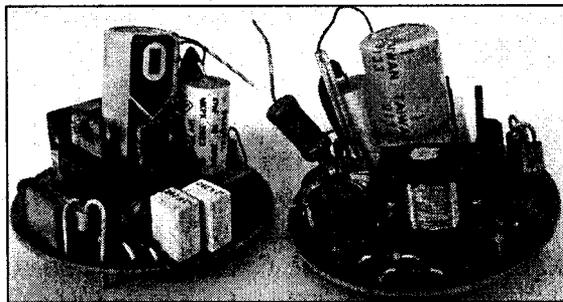


Рис. 3.47. Внешний вид Винницкого балласта

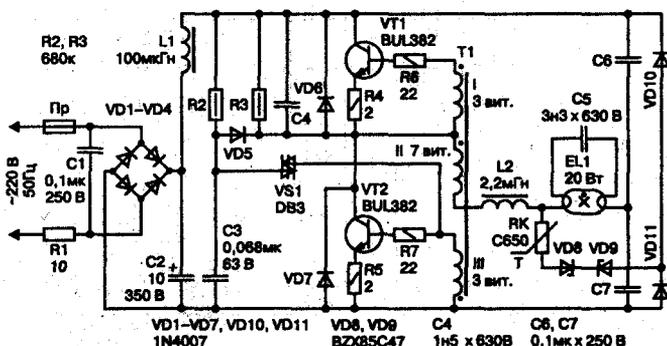


Рис. 3.48. Принципиальная схема балласта



Примечание.

К сожалению, резистивный слой не выдерживает импульсных нагрузок и выгорает, данный тип резистора в этой схеме использовать не рекомендуется. Следует использовать любой проволочный резистор 5—15 Ом.

Электронный балласт Luxog производства КНР



Рис. 3.49. Внешний вид электронного балласта Luxog

Следующий электронный балласт — Luxog производства КНР. Внешний вид балласта показан на рис. 3.49. Принципиальная схема показана на рис. 3.50.

Данный балласт предназначен для работы одновременно с двумя ЛЛ мощностью 36—40 Вт. В связи с тем, что нагрузка балласта составляет 80 Вт, здесь был применен пассивный корректор коэффициента мощности на элементах VD — VD8, C1, C2.

Особенности ремонта КЛЛ и электронных балластов

Не секрет, что долговечность и надежная работа КЛЛ во многом зависит от качества составляющих ее элементов. К сожалению, на сегодняшний день КЛЛ и электронные балласты несколько дискредитированы некачественной продукцией китайского производства. Дело в том, что в погоне за удешевлением и производители, и продавцы совершенно

Электронный балласт. Он является одной из основных частей компактной люминесцентной лампы, которая отвечает за ее стабильную работу. У некачественных балластов занижена мощность, выдаваемая в лампу. Отсутствует режим предварительного прогрева катодов, низкая надежность всех элементов электронной схемы.

Для более детального обзора обратимся к принципиальной схеме на рис. 3.51. Данная схема является наиболее распространенной и используется во многих КЛЛ и электронных балластах.

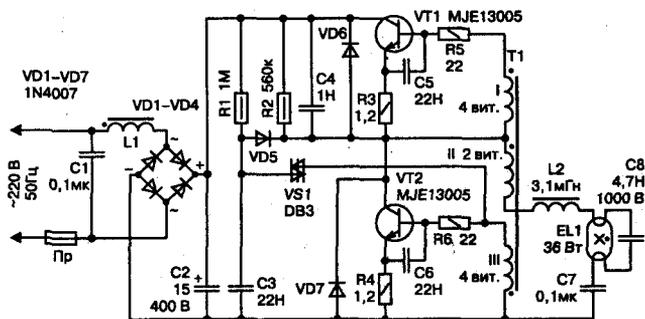


Рис. 3.51. Распространенная схема электронного балласта на дискретных элементах

Наиболее часто выходят из строя силовые ключи транзисторы VT1, VT2. Вместо 13005, в корпусе TO-220, довольно часто можно встретить маломощные 13002 в корпусе TO-92, что отрицательно сказывается на надежности балласта.

При выходе из строя транзисторов VT1, VT2 обрываются также резисторы R3-R6. При замене транзисторов резисторы R3-R6 следует проверить на обрыв и при необходимости заменить. Следующим ненадежным элементом является конденсатор C8. Если при перегорании транзисторов и элементов обвязки это видно невооруженным взглядом (вздутие, почернение корпуса), то при обрыве конденсатора C8 визуально он выглядит исправным. Дело в том, что часто в балласты устанавливают конденсаторы C8 с напряжением 630 В и при старении лампы, когда повышается напряжение поджига этот конденсатор не выдерживает и обрывается. Для проверки следует использовать измеритель емкости. А для повышения надежности электронного балласта его следует заменить на отечественный К78-2 с напряжением 1000—1600 В или на аналогичный импортный с качественным диэлектриком.

Также часто выходит из строя электролитический конденсатор C2. У него наблюдается вздутие, потеря емкости. К этому элементу тоже

предъявляются жесткие требования по качеству. Он должен быть высокотемпературным. Внутренний объем КЛЛ довольно часто прилично нагревается, особенно это заметно при отсутствии вентиляционных отверстий и при эксплуатации КЛЛ колбой вниз.

Цепочка запуска R1, VS1 выходит из строя гораздо реже. Но при исправности всех элементов и отсутствия генерации, на нее следует обратить внимание.



Совет.

Чтобы уменьшить затраты на ремонтные работы можно рекомендовать к покупке и эксплуатации КЛЛ и электронные балласты известных производителей OSRAM, PHILIPS, GE.

Среди китайских производителей выпускающих качественную продукцию следует отметить фирму Megaman, <http://www.megaman.cc>. А среди украинских производителей лидером на сегодня является ООО «Газотрон-Люкс» г. Ровно, <http://ru.lummax.com.ua>, выпускающий свою продукцию под торговой маркой ЛЮММАКС.

3.3.10. ЭПРА с питанием от низковольтных источников

Классификация

В ряде случаев (при отдыхе на природе или отключении электроэнергии дома) возникает необходимость запитать ЛЛ от автономных низковольтных источников тока, например, от автомобильного аккумулятора.

Рассмотрим несколько конструкций, которые помогут решить нам эту проблему.

По схемотехническому исполнению электронные балласты, работающие от автономных низковольтных источников, разделяют на две группы:

- ♦ двухтактные;
- ♦ однотактные.

Они могут быть реализованы как на специализированных микросхемах, так и на дискретных элементах.

Электронный балласт для ЛЛ ЛБУ 30 мощностью 30 Вт

Предназначен для питания ЛЛ при освещении гаража, садового домика или других небольших помещений.



Примечание.

Балласт выполнен на доступных элементах и без труда может быть повторен радиолюбителями средней квалификации.

К достоинствам устройства, в частности, относится его способность работать при пониженном до 5 В напряжении питания. Данный электронный балласт рассчитан на питание ЛЛ ЛБУ 30 мощностью 30 Вт и имеет следующие технические характеристики:

- ♦ номинальное напряжение питания — 13,2 В;
- ♦ номинальный входной ток — 2,6 А;
- ♦ частота преобразования — 20—25 кГц;
- ♦ КПД устройства — 85 %.

Структурная схема преобразователя показана на рис. 3.52.

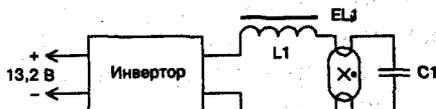


Рис. 3.52. Структурная схема преобразователя

Преобразователь выполнен на базе повышающего инвертора напряжения, нагруженного на последовательный колебательный контур, образованный катушкой индуктивности $L1$ и конденсатором $C1$, параллельно которому включена люминесцентная

лампа $EL1$. Инвертор преобразует постоянное напряжение аккумуляторной батареи 13,2 В в переменное в виде импульсов прямоугольной формы амплитудой 150 В, поступающее на последовательный колебательный контур $L1$, $C1$.

Резонансная частота контура равна частоте питающего напряжения, а ток, протекающий через нагрузку, подключенную к конденсатору контура, не зависит от ее сопротивления. При этом в момент подачи питающего напряжения сопротивление лампы $EL1$ велико, к конденсатору $C1$ приложено высокое напряжение, а через катушку индуктивности $L1$ протекает ток, превышающий номинальное значение.

Этот ток течет и через нити накала $EL1$, разогревая их, что обеспечивает надежное включение лампы. При загорании лампы ее сопротивление падает и шунтирует конденсатор $C1$. В результате напряжение на нем снижается до значения, поддерживающего горение лампы, а ток через катушку индуктивности $L1$ уменьшается до номинальной величины.

Принципиальная электрическая схема преобразователя показана на рис. 3.53.

Колебательный контур образован элементами $L2$, $C7$. Инвертор выполнен по схеме двухтактного автогенератора с положительной

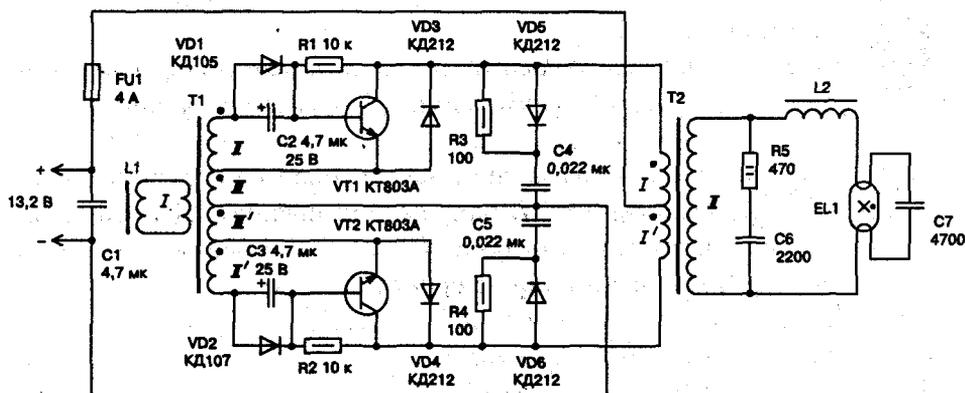


Рис. 3.53. Принципиальная электрическая схема преобразователя

обратной связью по току (ПОСТ) на элементах Т1, Т2, L1, VT1, VT2, VD1—VD6, C2—C5, R1—R4. Такое построение инвертора позволяет минимизировать энергию, затрачиваемую на управление ключевыми транзисторами VT1, VT2, и снизить влияние напряжения источника питания на стабильность работы преобразователя.

В этом случае легко обеспечиваются и оптимальные частоты преобразования. Кроме указанных выше элементов, преобразователь содержит плавкий предохранитель FU1, конденсатор C1, защищающий источник питания от импульсных токов, и цепочку C6, R5, подавляющую высокочастотные колебания напряжения на обмотках трансформатора T2.

Работает преобразователь следующим образом. В момент подачи питающего напряжения транзисторы VT1, VT2 закрыты, и напряжение на их коллекторах равно напряжению питания. Через резисторы R1, R2 протекает ток, заряжающий конденсаторы C2, C3 в направлении, противоположном их полярности, указанной на схеме.

Через некоторое время напряжение на базе одного из транзисторов (например, VT1) достигнет порога его открывания, и через коллекторную цепь потечет ток, который пройдет также через источник питания, обмотку I трансформатора T2 и обмотку III трансформатора T1. В результате появится ток и в обмотке II трансформатора T1, который, в свою очередь, потечет через конденсатор C2 и переход «база-эмиттер» транзистора VT1.

При этом VT1 входит в режим насыщения, а конденсатор C2 перезарядается в соответствии с указанной на схеме полярностью. Его перезарядка ограничивается диодом VD1. Таким образом происходит запуск преобразователя. Транзистор VT1 будет находиться в состоянии насыщения до тех пор, пока не прекратится базовый ток, что может прои-

зойти в результате снижения тока через первичную обмотку трансформатора Т2 или при коротком замыкании обмоток трансформатора Т1.

Запускается преобразователь на резонансной частоте контура L2C7, и транзисторы VT1, VT2 будут переключаться в момент перехода через нуль тока дросселя L2. После зажигания лампы EL1 и шунтирования ею конденсатора C7 передача энергии дросселя L2 лампе и конденсатору C7 затягивается, и частота преобразования снижается.

Ее стабилизация при этом происходит на уровне, определяемом временем перемангничивания дросселя L1, который, насыщаясь, замыкает накоротко обмотку трансформатора Т1, что приводит к закрыванию одного транзистора и открыванию другого. Частота настройки колебательного контура выбрана равной 46 кГц, а рабочая частота преобразователя — 20—25 кГц.

При таком отношении частот обеспечивается максимальная эффективность работы. Цепочки C4, VD5, R3 и C5, VD6, R4 служат для снижения амплитуды коммутационного импульса на коллекторах транзисторов VT1, VT2 при их закрывании.

Преобразователь смонтирован на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита размерами 233×50 мм. Чертеж возможного варианта печатной платы преобразователя изображен на рис. 3.54.

Плата рассчитана на установку резисторов МЛТ, конденсаторов К73-17 (C1, C4, C5), К50-35 (C2, C3) и К15-5 (остальные), диодов серий КД105 (VD1, VD2) и КД212 (VD3—VD6). Транзисторы VT1, VT2 закрепляют с помощью стандартных фланцев и винтов с гайками М4 на Г-образных теплоотводах (на рис. 3.54 изображены штрихпунктирными линиями). Каждый из них сгибают из пластины листового алюминиевого сплава АМц-П толщиной 2 мм (размеры заготовки — 85×50, полки — 50×12 мм) и привинчивают к плате винтами с гайками М3. Выводы транзисторов соединяют с печатными проводниками отрезками монтажного провода. Резисторы R3, R4 устанавливаются перпендикулярно плате.

Электронный балласт может быть встроен в светильник или помещен в отдельный кожух. При монтаже дроссель L1 и трансформатор Т1 желательно разместить возможно дальше от трансформатора Т2 и дросселя L2, а оксидные конденсаторы C2, C3 не располагать в непосредственной близости от транзисторов VT1, VT2 и резистора R5.

В преобразователе применены конденсаторы К73-17 (C1, C4, C5) на напряжение 63 В, К50-35 (C2, C3) на напряжение 25 В и К15-5 (C6, C7) на напряжение 1,6 кВ. Транзисторы КТ803А можно заменить на КТ908 с любыми буквенными индексами. Их желательно выбрать с одинаковым

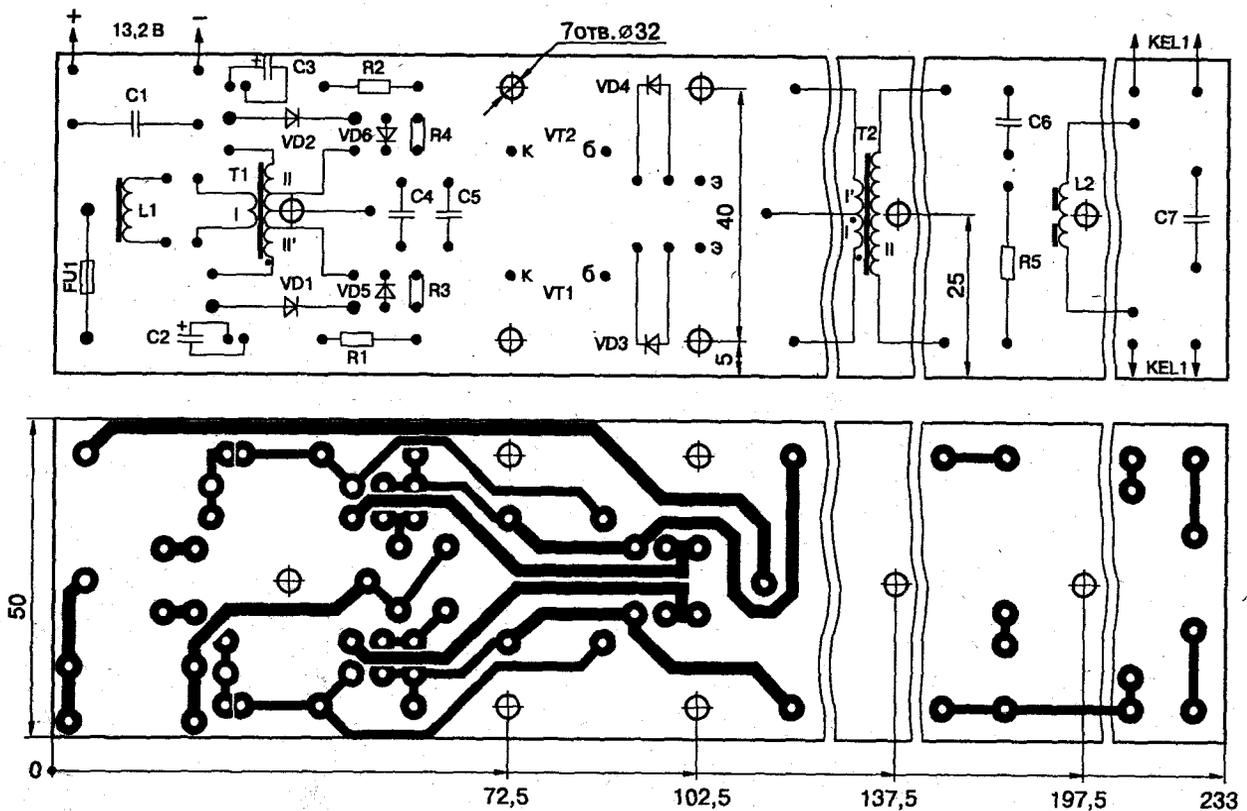


Рис. 3.54. Печатная плата преобразователя

коэффициентом передачи тока базы. Примененные в устройстве диоды КД105 могут иметь любой буквенный индекс. Подойдут и другие низкочастотные диоды с допустимым прямым током не менее 0,5 А. Диоды КД212 (VD3—VD6) также могут быть с любым буквенным индексом. Их допустимо заменить другими кремниевыми диодами, способными работать на частотах до 50 кГц и допускающими прямой ток не менее 2 А и обратное напряжение не менее 50 В.

Дроссели и трансформаторы намотаны на кольцевых магнитопроводах из феррита М2000НМ-1. Обмотки дросселей L1, L2 размещены на магнитопроводах К7×4×2 и К40×25×11 и содержат 5 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,63 мм и 140 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,41 мм соответственно. Обмотки трансформаторов T1, T2 намотаны на магнитопроводах К20×12×6 и К40×25×11, соответственно. Обмотки I, III и III' трансформатора T1 содержат по 3 витка провода ПЭВ-2 диаметром 0,63 мм, а II и II' — по 12 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,41 мм.

Каждая из обмоток I и I' трансформатора T2 состоит из 11 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,8 мм, а обмотка II — из 140 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,41 мм. Обмотки I и I' трансформатора T2 намотаны одновременно в два провода поверх обмотки II. Между обмотками следует проложить лакоткань. Обмотки трансформатора T1 необходимо расположить в соответствии со схемой, показанной на рис. 3.55.

Обмотка I должна размещаться симметрично относительно остальных обмоток с целью обеспечения симметрии полупериодов выходного напряжения и исключения одностороннего насыщения магнитопровода трансформатора, приводящего к увеличению потерь энергии. Дроссель

L2 должен иметь немагнитный зазор. Для этого в его сердечнике перед намоткой нужно сделать пропил шириной 0,8 мм.

На время налаживания преобразователя вместо лампы EL1 и конденсатора C7 последовательно с дросселем L2 включают резистор сопротивлением 1 кОм и мощностью 5—10 Вт. Сначала проверяют надежность запуска преобразователя. Для этого на него подают питающее напряжение 5 В и, если он не начинает генерировать прямоугольные импульсы

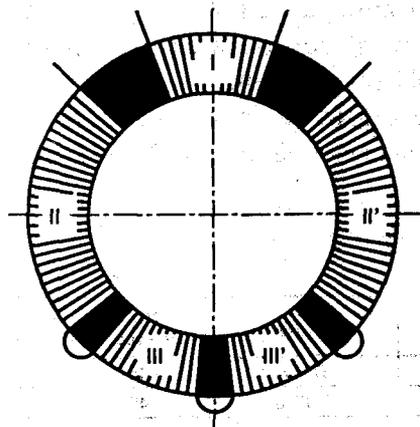


Рис. 3.55. Схема расположения обмоток трансформатора T1

частотой 20—25 кГц, уменьшают сопротивление резисторов R1, R2, но не более, чем в три раза.

Далее контролируют частоту генерации преобразователя. Для этого на него подают номинальное напряжение питания 13,2 В и с помощью осциллографа или частотомера определяют частоту переменного напряжения на обмотках трансформатора Т2. Если она выходит за пределы 20—25 кГц, изменяют число витков дросселя L1. Для увеличения частоты число витков дросселя L1 уменьшают, а для снижения — увеличивают.

После этого восстанавливают выходные цепи преобразователя и последовательно с дросселем L2 включают резистор сопротивлением 10 Ом и мощностью 0,5—1,0 Вт. Затем на преобразователь подают номинальное напряжение питания, и после загорания лампы EL1 с помощью осциллографа контролируют форму напряжения на вновь установленном резисторе: она должна быть близкой к синусоидальной.

Ток через дроссель L2 должен составлять около 0,22 А. При подаче питания на преобразователь лампа должна загораться через 1—2 с. Помимо лампы ЛБУ 30 совместно с описанным преобразователем могут работать и другие, рассчитанные на те же напряжение и ток.

Балласт на KP1211EY1

Данный вариант устройства питания от низковольтного источника — это электронный балласт, реализованный на специализированной микросхеме KP1211EY1.

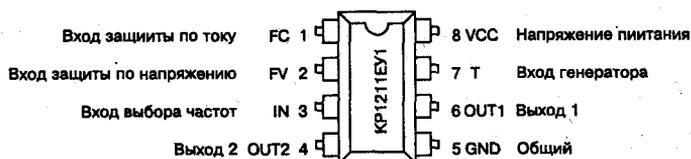
Микросхема 1211EY1 представляет собой специализированный контроллер электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) для компактных люминесцентных ламп с питанием от бортовой сети постоянного тока 3—24 В. Производится по КМОП технологии.

В табл. 3.12 приведены отличительные характеристики микросхем в разных корпусах. Цоколевка корпусов и назначение выводов показаны на рис. 3.56.

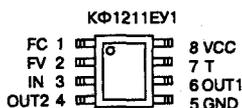
Отличия микросхем с разной маркировкой

Таблица 3.12

Типономинал	Коэффициент деления K1	Коэффициент деления K2	Корпус	Диапазон температур, °С
KP1211EY1	6+1	8+1	DIP-8	-45...+100
KФ1211EY1	6+1	8+1	SOP-8	-45...+100
KP1211EY1A	2+1	3+1	DIP-8	-45...+100
KФ1211EY1A	2+1	3+1	SOP-8	-45...+100



Пластмассовый корпус типа DIP-8



Пластмассовый корпус типа SOP-8

Рис. 3.56. Цоколевка и назначение выводов микросхемы КР(КФ)1211ЕУ1А**Максимальные значения параметров и режимов:**

- ♦ напряжение питания V_{CC} — 12 В;
- ♦ входное напряжение *высокого* уровня V_{IN} (H) по входам IN, FV, FC — $V_{CC} + 0,5$ В;
- ♦ входное напряжение *низкого* уровня V_{IN} (L) по входам IN, FV, FC — $-0,5$ В;
- ♦ максимальный выходной ток I_{OUT} — 250 мА;
- ♦ рассеиваемая мощность P_D — 750 мВт;
- ♦ максимальная емкость нагрузки C_L — 1000 пФ.

Электрические характеристики:

- ♦ напряжение питания V_{CC} — 3...9 В;
- ♦ входное напряжение *высокого* уровня V_{IN} (H) по входам IN, FV, FC, не менее — $0,7 \cdot V_{CC}$;
- ♦ входное напряжение *низкого* уровня V_{IN} (L) по входам IN, FV, FC, не более — $0,2 \cdot V_{CC}$;
- ♦ средний выходной ток для каждого выхода $I_{OUT(av)}$ — 150 мА;
- ♦ частота задающего генератора f_T , не более — 5 МГц;
- ♦ входной ток *высокого* уровня I_{IN} (H) по входам IN, FV, FC, не более — 1 мкА;
- ♦ входной ток *низкого* уровня I_{IN} (L) по входам IN, FV, FC, не более — 1 мкА;
- ♦ ток потребления при $f_T = 0$, не более — 10 мкА.

Описание работы. Структурная схема микросхемы 1211EY1/A приведена на рис. 3.57.

Основная особенность микросхемы КР(КФ)1211EY1 — наличие двух достаточно мощных каналов управления ключами, работающих в проти-

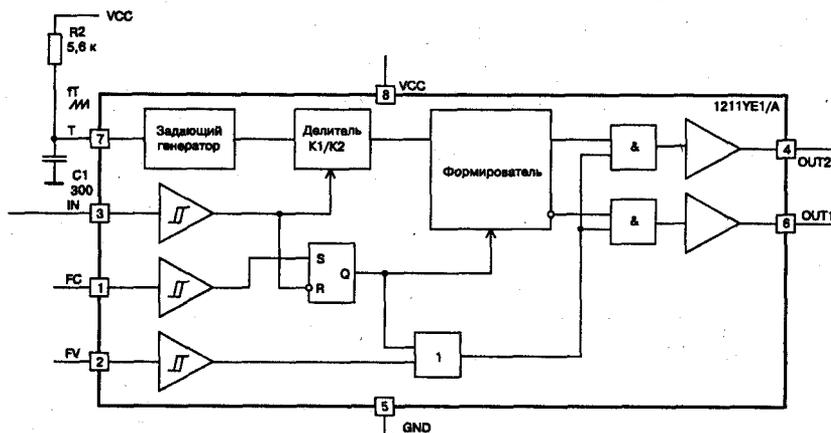


Рис. 3.57. Структурная схема микросхемы КР(КФ)1211ЕУ1А

во фазе с обязательной паузой между выходными импульсами. Импульс во втором канале появляется через некоторое время после окончания импульса в первом, и наоборот; в западной терминологии эта пауза носит название **Dead time** — время простоя. Благодаря этому микросхема хорошо подходит для построения несложных, легко повторяемых импульсных преобразователей напряжения.

Микросхема состоит из:

- ♦ задающего генератора;
- ♦ делителя частоты;
- ♦ формирователя импульсов;
- ♦ выходных усилителей.

Управление микросхемой производится через выводы IN, FC, FV. С выводами управления микросхемой связаны встроенные пороговые устройства. Вывод IN переключает делитель частоты и сбрасывает RS-триггер блокировки формирователя импульсов и выходных усилителей. При подаче на вывод IN напряжения низкого уровня выбирается коэффициент деления K_1 и сбрасывается RS-триггер, при подаче **высокого** уровня выбирается коэффициент деления K_2 .

Выводы FC и FV служат для построения схем защиты. Подача на вывод FV напряжения **высокого** уровня вызывает выключение выходных усилителей (на выводах OUT1 и OUT2 устанавливается напряжение, равное нулю) на время, пока напряжение **высокого** уровня удерживается на этом выводе. Подача на вывод FC напряжения **высокого** уровня вызывает установку RS-триггера и выключение выходных усили-

телей (на выводах OUT1 и OUT2 устанавливается напряжение, равное нулю) до тех пор, пока по входу IN не будет сброшен RS-триггер.

Рабочая частота задающего генератора микросхемы зависит от параметров элементов цепи R2, C1, подключаемых к выводу T.

Ток, протекающий через резистор R2, заряжает конденсатор C1. Когда напряжение на нем повышается до уровня, равного примерно 2/3 от напряжения питания, открывается шунтирующий его внутренний ключ микросхемы, в результате чего конденсатор быстро разряжается. Далее цикл повторяется. Частоту колебаний f на входе T микросхемы можно оценить по формуле

$$f = \frac{1,4}{R2 \cdot C1}, \text{ кГц.}$$



Примечание.

Для устойчивой работы устройства емкость конденсатора C1 должна быть не более 3000 пФ, а сопротивление резистора R2 — не менее 500 Ом.

Импульсы пилообразной формы на входе T (рис. 3.58) служат основой для формирования выходных импульсов на выходах OUT1 и OUT2. На них поочередно появляются прямоугольные импульсы, длительность которых зависит от уровня напряжения на входе IN.

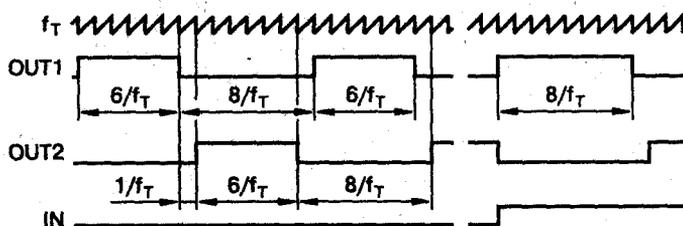


Рис. 3.58. Временные соотношения между входными и выходными сигналами

При низком логическом уровне она равна шести, а при высоком — восьми периодам колебаний задающего генератора. По окончании импульса формируется пауза длительностью, равной одному периоду колебаний задающего генератора, в течение которой напряжение на обоих выходах имеет низкий уровень. Затем появляется импульс в другом канале и т. д. Иными словами, частота следования импульсов на выходах микросхемы $f_{\text{ВЫХ}}$ связана с частотой f следующими соотношениями:

при низком уровне на входе IN

$$f_{\text{ВЫХ}} = \frac{f}{6+1+6+1} = \frac{f}{14}, \text{ кГц.}$$

при высоком уровне на входе IN

$$f_{\text{ВЫХ}} = \frac{f}{8+1+8+1} = \frac{f}{18}, \text{ кГц.}$$

Здесь суммы чисел в знаменателях — периоды колебаний на выходах OUT1 и OUT2, выраженные через период колебаний на входе T.

Зависимость стабильности частоты генератора от изменения напряжения питания можно оценить по графику, приведенному на рис. 3.59. Ток, потребляемый микросхемой, увеличивается с повышением частоты генератора, как показано на рис. 3.60.

Выход генератора подключен к управляемому делителю частоты, с выхода которого симметричные противофазные импульсы поступают на вход формирователя; формирователь обеспечивает паузу между ними длительностью в один период тактовой частоты, как показано на рис. 3.61. Типовая схема применения микросхемы 1211EY1/A

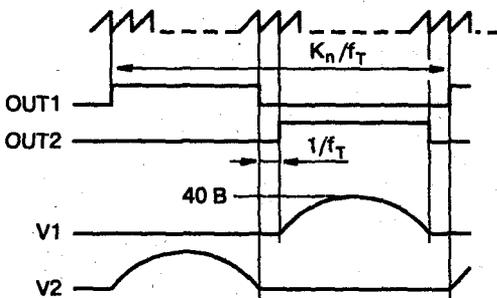


Рис. 3.60. Зависимость тока потребления от частоты генератора и температуры

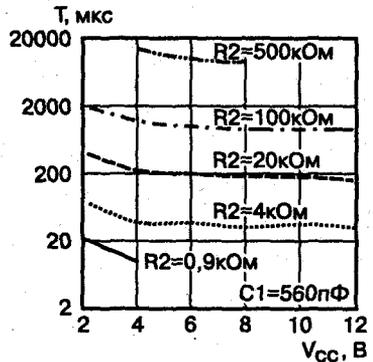


Рис. 3.59. Зависимость периода следования импульсов на выходе микросхемы 1211EY1 от напряжения питания; коэффициент деления равен 14

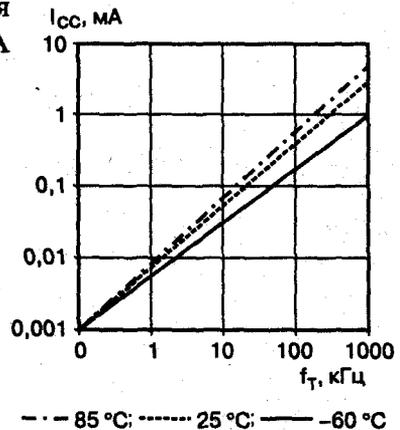


Рис. 3.61. Временные диаграммы работы инвертора

в ЭПРА для люминесцентной лампы мощностью 9—15 Вт приведена на рис. 3.62.

Схема инвертора состоит из микросхемы 1211EY1/A с времязадающими цепями и двухтактного трансформаторного каскада, нагрузкой которого является колебательный контур L2, C8 с люминесцентной лампой.

После включения схема производит разогрев катодов лампы напряжением с частотой на 30 % выше резонансной, а затем подает на нее высокое напряжение с частотой, равной резонансной, под действием которого лампа начинает светиться в штатном режиме.

Частота импульсов, вырабатываемых генератором, подбирается такой, чтобы при высоком уровне напряжения на входе IN (при коэффициенте деления, равном K2) частота повторения импульсов на выходе микросхемы была равна резонансной частоте колебательного контура.

При подаче напряжения питания ток, протекающий через резистор R2, начинает заряжать конденсатор C2, подключаемый к выводу IN. Постоянная времени RC-цепочки R2, C2 определяет время разогрева катодов лампы.

При этом за время достижения порогового значения напряжения на входе IN производится разогрев катодов лампы частотой выше резонансной (коэффициент деления K1), а после достижения порогового значения — зажигание и свечение лампы (коэффициент деления K2). Для данной схемы резонансная частота колебательного контура равна 45 кГц, время заряда конденсатора C2 — 2 с.

Элементы L1, C5 и C6 обеспечивают изменение напряжения на стоках транзисторов по синусоидальному закону. Транзисторы переключаются при нулевом напряжении на стоке, вследствие чего разогрев транзисторов уменьшается за счет снижения коммутационных потерь.

Микросхема 1211EY1A отличается от 1211EY1 меньшими значениями обоих коэффициентов деления K1 и K2 (см. табл. 3.12) делителя частоты, что позволяет примерно вдвое уменьшить частоту задающего генератора f_T . Это сделано для того, чтобы длительность паузы между выходными импульсами, равная одному периоду тактовой частоты f_T , увеличилась также примерно в два раза, что позволяет эффективно использовать в качестве выходных ключей недорогие биполярные транзисторы с большим временем переключения, чем у полевых транзисторов.

Кроме полевых транзисторов, указанных на схеме, можно использовать КП742, КП723, IRLR2905, STD20NE06L, SPP80N04S2L, SPP80N06S2L.

В качестве повышающего трансформатора T1 для ламп мощностью до 15 Вт используют броневые сердечники чашечного типа Б22 (где

22 — внешний диаметр чашки в миллиметрах) без зазора, марка феррита 2000НМ. Обмотка II содержит 150—170 витков ПЭЛ диаметром 0,3 мм, обмотка I — 2×18 витков ПЭЛ диаметром 0,6 мм.

Для ЛЛ мощностью 18—36 Вт следует брать более мощный сердечник, Ш-образный или броневого со средним керном сечением 0,6—1 см². Основные геометрические параметры некоторых магнитопроводов представлены в табл. 3.13.

Основные геометрические параметры некоторых магнитопроводов

Таблица 3.13

Типоразмер	Длина средней силовой линии l_M , см	Площадь сечения магнитопровода S_M , см ²	Площадь окна S_O , см ²	$S_M \times S_O$, см ⁴	Эффективный объем магнитопровода $V_M = l_M \times S_M$, см ³
K10×6×3	2,45	0,06	0,283	0,017	0,147
K10×6×4,5	2,52	0,09	0,283	0,025	0,227
K16×10×4,5	4,09	0,135	0,785	0,106	0,552
K20×12×6	5,03	0,24	1,13	0,271	1,21
K32×20×6	8,17	0,36	3,14	1,13	2,93
K38×24×7	9,75	0,49	4,52	2,22	4,77
K40×25×11	10,22	0,825	4,91	4,05	8,42
Ш5×5	4,31	0,3	0,52	0,156	1,29
Ш7×7	6,29	0,62	1,14	0,7	3,95
Ш10×10	8,38	1,0	2,1	2,1	8,38
Ш12×15	9,67	1,8	2,7	4,9	17,4
Ш16×20	12,3	3,21	4,2	13,5	39,5
Ш20×28	14,4	6,77	5,3	30,6	97,5
Б14	1,89	0,27	0,157	0,0425	0,529
Б22	3,04	0,69	0,39	0,258	2,1
Б30	4,41	1,46	0,812	1,0	6,44
Б36	5,4	2,2	0,854	1,84	11,9
Б48	6,92	3,74	1,967	7,0	25,88

Примечания к табл. 3.13:

K — кольцевые магнитопроводы; Ш — Ш-образные; Б — броневого.

S_M , см² — эффективное значение площади сечения магнитопровода;

S_O , см² — площадь окна магнитопровода;

$V_M = l_M \times S_M$, см³ — эффективный объем магнитопровода.

Число витков первичной обмотки определяют из расчета 1—1,4 витка на 1 В напряжения питания, диаметр провода — исходя из плотности тока 3—4 А/мм². Например, при среднем токе первичной обмотки 2 А следует использовать провод диаметром 0,8—1 мм. Аналогично рассчитывают число витков вторичной обмотки, амплитуда импульсов при этом должна быть не менее 150 В.

Токоограничительный дроссель L2 аналогичен дросселям, используемым в электронных балластах на IR2153, которые были рассмотрены выше.

Для расчета трансформаторов удобно пользоваться программой EvTrans, которую разработал А. С. Ревко. На сайте технической поддержки программы для расчета трансформаторов EvTrans (адреса в Интернете <http://evtrans.chat.ru/>, <http://inel.stu.cn.ua/~asr/evtrans/>) имеются также справочные данные по методикам расчета трансформаторов и самим трансформаторам.

Расчет трансформатора можно также производить с помощью программы Е. А. Москатова, которую можно найти в Интернете по адресу ftp://ftp.radio.ru/pub/2004/soft_2004/Transformer_1.0.0.1.exe.

Методика расчета двухтактных трансформаторов имеется и в книге [14].

В Интернете доступна электронная версия этой книги по адресу http://power.frikzona.org/books/pulse/semenov_se4landproffi.djvu.

Замечания по применению. При повышении напряжения питания увеличивается напряжение, подводимое к лампе, и мощность, рассеиваемая микросхемой. Чтобы избежать выхода из строя как лампы, так и силовых транзисторов, в схему ЭПРА вводят блокировки по превышению напряжения питания (вывод FV) и потребляемому току (вывод FC).

Схема узла блокировки ЭПРА по превышению напряжения питания приведена на рис. 3.63.

Увеличение напряжения питания приводит к росту напряжения на входе FV. При превышении порога срабатывания происходит выключение выходных каскадов микросхемы (на выводах OUT1 и OUT2 устанавливается напряжение, равное нулю). Уровень срабатывания схемы защиты

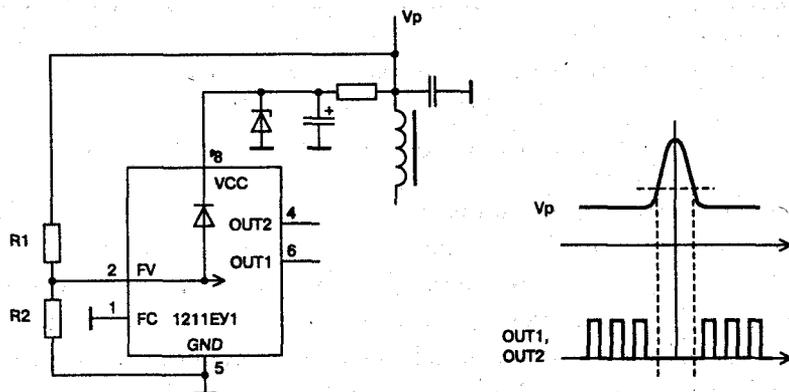


Рис. 3.63. Схема защиты выходного каскада по напряжению

(максимально допустимое напряжение $V_{P.MAKC}$ подводимое к выходному каскаду) определяется выбором номиналов резисторов $R1$, $R2$:

$$V_{P.MAKC} = 0,6 \cdot V_{CC} \frac{R1 + R2}{R2}, \text{ В,}$$

где $0,6 \cdot V_{CC}$ — порог срабатывания схемы защиты.

Сопротивление резистора $R1$ должно быть достаточно большим, чтобы ограничить ток через внутренний защитный диод при больших бросках напряжения питания.

Схема защиты выходного каскада по току приведена на рис. 3.64.

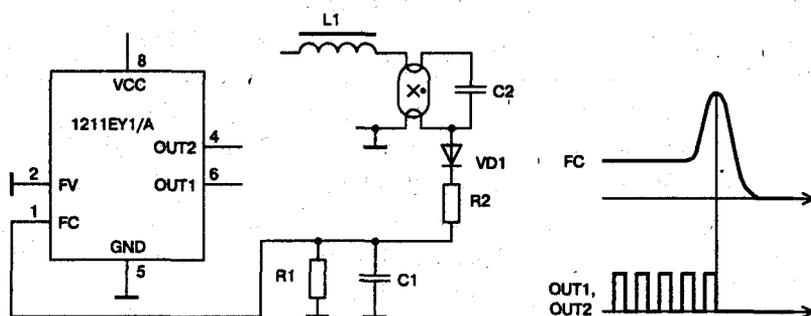


Рис. 3.64. Схема защиты выходного каскада по току

В случае выхода лампы из строя резко увеличивается ток через лампу, что приводит к увеличению падения напряжения на спирали лампы. Это напряжение выпрямляется детектором $VD1$, $C1$ и через делитель $R1$, $R2$ подается на вход FC . Для предотвращения случайного срабатывания от помех параллельно резистору $R1$ включен конденсатор $C1$. Делитель $R1$, $R2$ должен быть рассчитан так, чтобы при максимально допустимом токе через лампу напряжение на входе FC составило $0,6 \cdot V_{CC}$.

На рис. 3.65 представлена схема ЭПРА с защитой силовых ключей.

Эта схема аналогична схеме, показанной на рис. 3.62, но дополнена узлами защиты. Дополнительные резисторы $R3$, $R4$ и перемычки $X1$, $X2$ позволяют уменьшать рабочую частоту задающего генератора на 5, 10 и 15 %. Элементы $VD1$ и $R5$ обеспечивают защиту от бросков напряжения питания. При увеличении напряжения питания V_p до 17 В открывается стабилитрон $VD1$, напряжение на входе FV составит 5 В, что соответствует порогу срабатывания схемы защиты. Напряжения на выводах $OUT1$, $OUT2$ при этом станут равными нулю, транзисторы $VT1$,

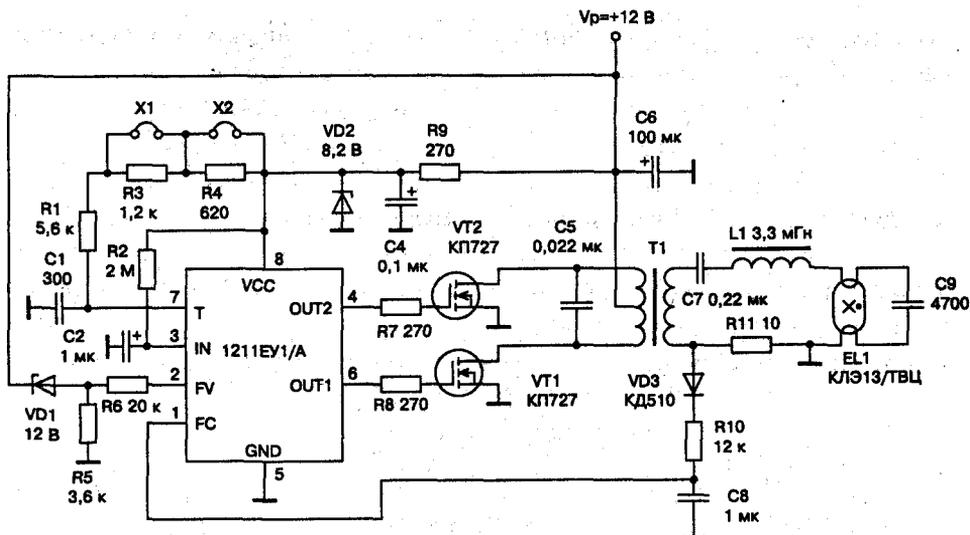


Рис. 3.65. Схема ЭПРА с защитой силовых ключей

VT2 закрываются. Резистор R6 ограничивает ток по входу FV на уровне 5 мА при бросках напряжения до 100 В.

Резистор R11 является датчиком тока. Напряжение с него поступает на детектор VD3, C8 и далее на вход FC. Подбирая резистор R11, устанавливают порог I_{MAX} срабатывания защиты по току:

$$I_{MAX} = \frac{0,6 \cdot V_{CC}}{R11}$$

При необходимости это значение можно пересчитать с учетом коэффициента трансформации трансформатора T1 в ток потребления от источника питания. Элементы R7, R8, C5 позволяют ограничить выбросы напряжения на стоках полевых транзисторов VT1, VT2 в моменты коммутации на уровне $0,2 \cdot V_p$. Нагрузочная характеристика микросхемы представлена на рис. 3.66.

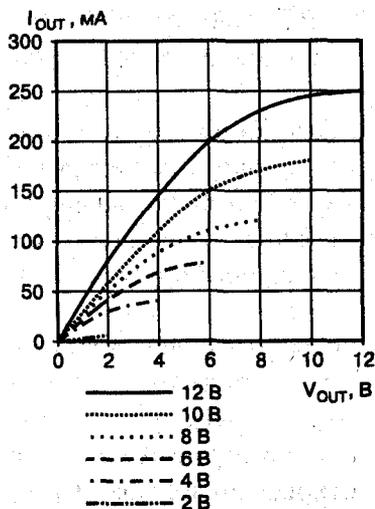


Рис. 3.66. Нагрузочная характеристика микросхемы

ЭПРА на КР1211ЕУ1 с питанием от бортовой сети автомобиля (11—15 В)

Одним из вариантов практической реализации ЭПРА на КР1211ЕУ1 с питанием от бортовой сети автомобиля (11—15 В) является устройство, принципиальная схема которого показана на рис. 3.67. Это устройство пригодится как дома, так и при отдыхе на природе.

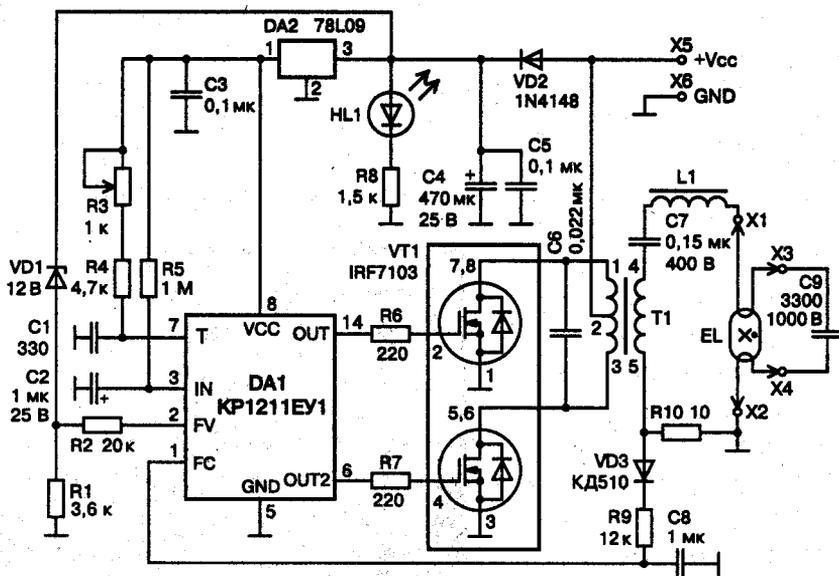


Рис. 3.67. Принципиальная электрическая схема ЭПРА на КР1211ЕУ1

Технические характеристики:

- ♦ напряжение питания — 11—15 В (типичное 14,4 В);
- ♦ ток потребления — 1 А;
- ♦ КПД — 95 %;
- ♦ рекомендуемый тип лампы — 4-х выводная КЛЛ мощностью 11—15 Вт;
- ♦ размеры печатной платы — 67×45 мм.

Для подключения к питающей сети и к лампе на плате размещены клеммные колодки. Печатная плата преобразователя может быть помещена в корпус с габаритными размерами 72×50×28 мм.

Описание работы. Электронный балласт выполнен по схеме двухтактного преобразователя напряжения на базе специализированного генератора КР1211ЕУ1 (DA1). Генератор формирует две последовательности

противофазных импульсов с защитным промежутком для управления парой мощных ключей (VT1), коммутирующих обмотки силового трансформатора Т1.

В качестве силовых ключей используется сборка полевых транзисторов IRF7103. Частота генерации регулируется переменным резистором R3 в диапазоне 20—30 кГц. Светодиод HL1 индицирует подачу питания на устройство.

Данная схема имеет защиту от превышения напряжения питания и защиту выходного каскада по току.

Напряжение питания подключается к контактам X5 (+), X6 (-).

Лампа подключаются к контактам X1, X2 и X3, X4.

Моточные узлы. Дроссель L1 индуктивностью 3,3 мГн выполнен на Ш-образном магнитопроводе из феррита М2000НМ. Типоразмер сердечника — Ш5×5 с зазором $\delta = 0,4$ мм. Провод диаметром 0,2 мм, обмотка содержит 230—240 витков.

Импульсный трансформатор Т1 выполнен на броневом сердечнике Б22 из феррита 2000НМ; обмотки 1—2 и 2—3 содержат по 18 витков провода ПЭЛ диаметром 0,5 мм; обмотка 4—5 содержит 150—160 витков провода ПЭЛ диаметром 0,2 мм.

Конструктивно балласт выполнен на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита размерами 67×45 мм. Печатная плата показана на рис. 3.68.

Надо отметить, что вместо КР1211ЕУ1 вполне можно использовать специализированные микросхемы IR2153, IR2156, IR2520, UBA2021, которые предназначены для реализации высоковольт-

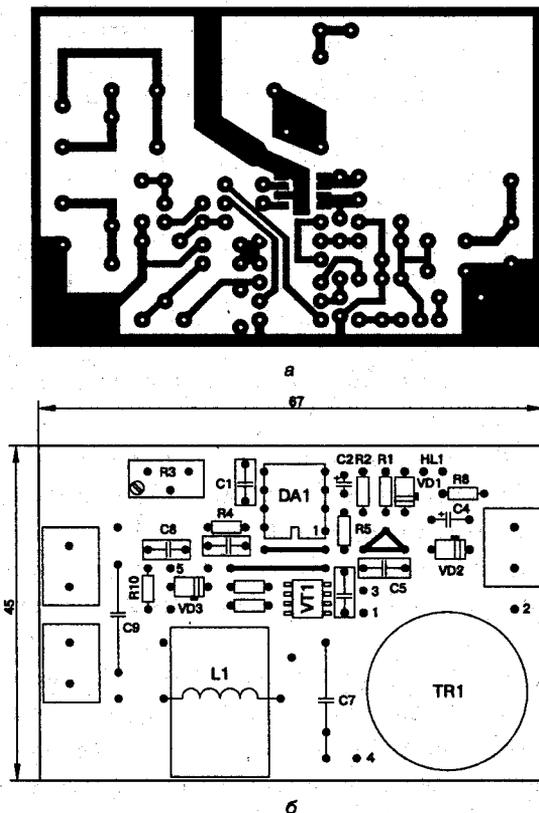


Рис. 3.68. Печатная плата балласта:
а — рисунок печатных проводников;
б — размещение элементов

ных балластов, учитывая, что минимальное напряжение питания у этих микросхем составляет около 9—10 В.

Еще одна конструкция электронного балласта с использованием КР1211ЕУ1 показана на рис. 3.69.

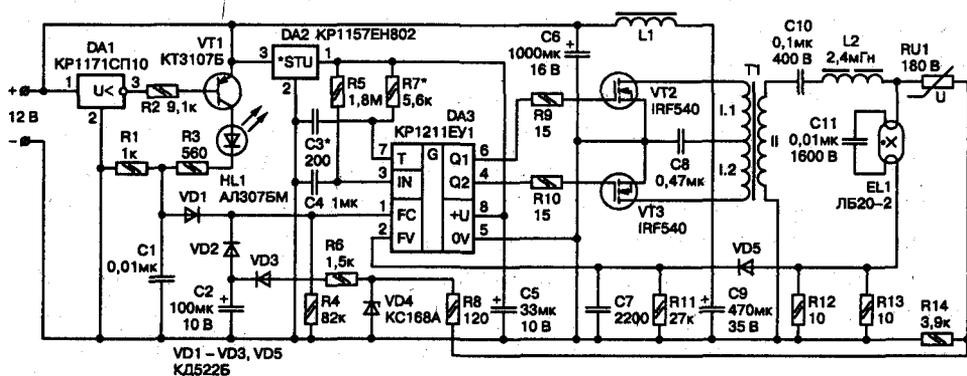


Рис. 3.69. Схема электронного балласта с использованием КР1211ЕУ1

В качестве источника света используется люминесцентная лампа мощностью 18—20 Вт. Напряжение питания (8 В) поступает на контроллер DA3 от интегрального стабилизатора DA2. Сразу после включения устройства конденсатор C4 разряжен, напряжение на входе IN контроллера соответствует низкому логическому уровню. В этом режиме коэффициент деления частоты тактового генератора микросхемы имеет меньшее из двух возможных значений.

Работа по принципиальной схеме. При номиналах элементов R7 и C3 (частотозадающей цепи генератора), указанных на схеме, на затворы транзисторов VT2 и VT3 поступают противофазные импульсные последовательности частотой 44 кГц. Импульсное напряжение той же частоты на вторичной обмотке выходного трансформатора T1 имеет размах 300 В.

Нагрузкой вторичной обмотки трансформатора T1 служит последовательный колебательный контур L2C10C11 с резонансной частотой 32,2 кГц. Газоразрядный промежуток не зажженной пока лампы EL1 имеет близкое к бесконечному сопротивление и на работу устройства влияния не оказывает.

Так как частота генерируемых контроллером импульсов далека от резонансной, напряжение на лампе не превышает 200 В. Этого недостаточно для поджига, но через ее нити накала течет нагревающий их ток 0,5 А.

Спустя 1—2 с конденсатор С4 зарядится через резистор R5 до напряжения, превышающего порог срабатывания контроллера DA3 по входу IN. Коэффициент деления частоты тактового генератора возрастет, а частота выходных импульсов контроллера уменьшится до 34,2 кГц, приблизившись к резонансной частоте колебательного контура. В результате начнет нарастать амплитуда напряжения, приложенного к лампе EL1, и через несколько периодов колебаний достигнет 500 В, необходимых для возникновения газового разряда.

Так как зажженная лампа шунтирует конденсатор С11, добротность колебательного контура уменьшится, а амплитуда напряжения между электродами лампы стабилизируется на уровне 80 В. Это рабочий режим с эффективным значением тока через лампу около 0,35 А.

Для исключения чрезмерной разрядки аккумуляторной батареи предусмотрен детектор понижения напряжения DA1 с порогом срабатывания 10 В. При напряжении между выводами 1 и 2 детектора ниже порогового открыт его внутренний p-p транзистор, коллектор которого соединен с выводом 3, а эмиттер — с выводом 2. В результате открыт транзистор VT1, светится, сигнализируя о недопустимой разрядке батареи, светодиод HL1, а на вход FC контроллера DA3 поступает напряжение (~5 В), запрещающее генерацию импульсов.

Лампа EL1 гаснет, а потребляемый ЭПРА ток уменьшается до нескольких миллиампер. Если детектор понижения напряжения сработал в результате отключения ЭПРА от источника питания (аккумуляторной батареи), светодиод HL1 продолжит гореть еще несколько секунд, пока не разрядятся конденсаторы С6 и С9.

**Внимание.**

ЭПРА необходимо защитить от аварийного режима работы на холостом ходу, который возникает при нарушении контактов в armатуре лампы, при перегорании одной из ее нитей накала или при потере эмиссии электродами.

В документации микросхемы KP1211EY1 отсутствуют какие-либо рекомендации по реализации такой защиты. Можно применить собственное техническое решение, подключив параллельно лампе делитель напряжения из варистора RU1 и резистора R14.

Если амплитуда напряжения на неисправной или отсутствующей лампе EL1 превышает классификационное напряжение варистора RU1, его сопротивление сравнительно невелико. Стабилитрон VD4 ограни-

чивает положительные импульсы, поступающие с делителя RU1R14, до 6,8 В, и они через резистор R6 и диод VD3 заряжают конденсатор C2. Отрицательные импульсы, ограниченные тем же стабилитроном до амплитуды менее 1 В, не участвуют в работе устройства.

Постоянная времени цепи R6C2 выбрана такой, что за время нормального разогрева и поджига лампы (~2 с) напряжение на конденсаторе не достигает порога срабатывания контроллера по входу FC. В рабочем режиме напряжение на лампе не превышает 80 В, что меньше классификационного напряжения варистора, его сопротивление очень велико и зарядки конденсатора C2 не происходит.

Но если лампа по любой причине не зажигается слишком долго или погасла во время работы, напряжение на конденсаторе C2 приблизительно за 5 с нарастет до порогового уровня, и работа контроллера будет заблокирована. Диоды VD1 и VD2 устраняют взаимное влияние двух узлов защиты.

На вход FV контроллера DA3 подано напряжение, пропорциональное току разряда в лампе. Оно получено с помощью датчика тока — соединенных параллельно резисторов R12, R13 и выпрямителя на диоде VD5. При указанных на схеме номиналах порог срабатывания токовой защиты — 0,7 А, что в два раза больше нормального тока горячей лампы (0,35 А) и больше тока ее накала в режиме разогрева (0,5 А).

При снижении тока до номинального значения работа контроллера возобновляется автоматически. Конденсатор C7 подавляет импульсные помехи, предотвращая ложные срабатывания защиты, в том числе при одиночных вспышках лампы.



Примечание.

Разработчик схемы преднамеренно отказался от демпфирования обмоток трансформатора RC-цепями, что обычно делают для снижения уровня создаваемых ЭПРА помех. Автономное питание и экранирование устройства металлической арматурой светильника эффективно подавляют маломощные паразитные электромагнитные излучения, делая их практически неощутимыми.

Печатная плата и монтаж. Все элементы ЭПРА смонтированы на односторонней печатной плате, чертеж которой приведен на рис. 3.70. Диод VD3 и резистор R6 установлены перпендикулярно плате, их «верхние» выводы соединены. Полевые транзисторы снабжены

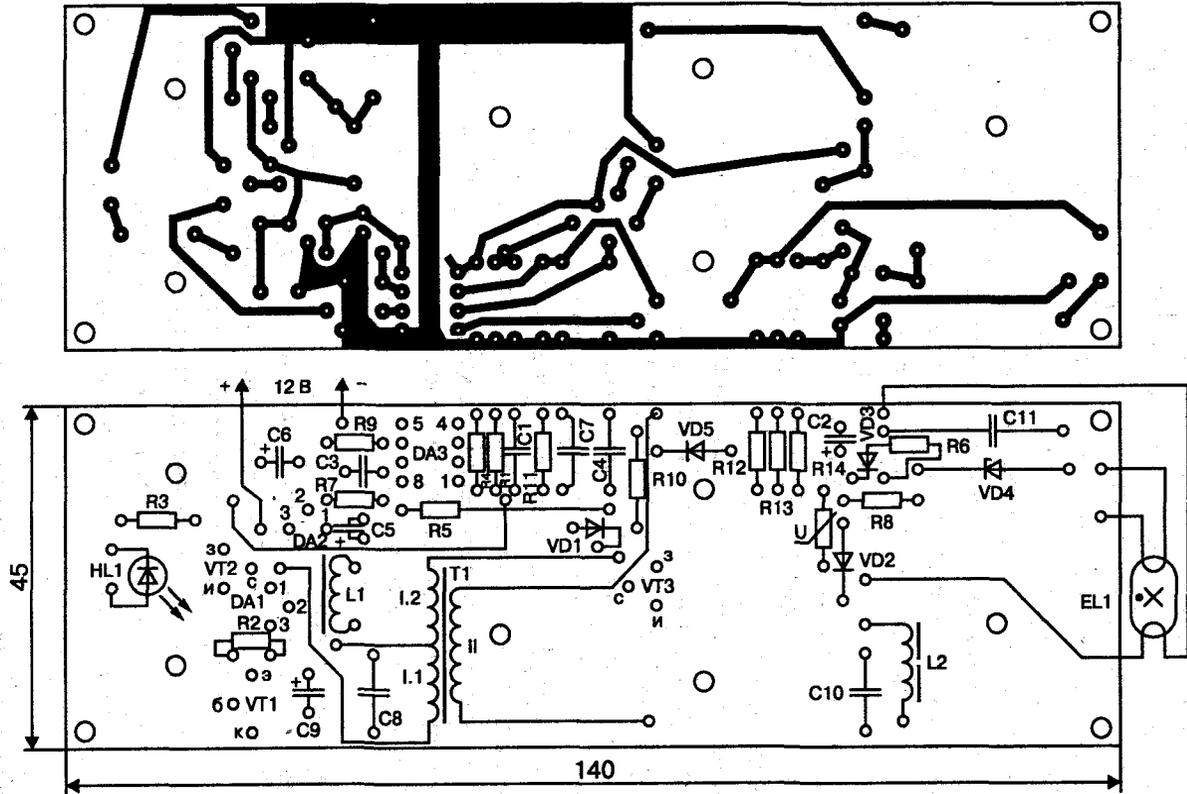


Рис.3.70. Печатная плата ЭПРА

ребристыми или штыревыми радиаторами с охлаждающей поверхностью примерно 50 см^2 . Радиаторы с помощью крепежных втулок подняты над платой на 8—10 мм. При этом теплоотводящая поверхность транзистора VT2 расположена параллельно плате, а VT3 — перпендикулярно ей. Эти транзисторы желательно подобрать идентичными по пороговому.

Замена элементов. Транзистор КТ3107Б можно заменить любым маломощным кремниевым структуры р-п-р. Варистор RU1 может быть отечественным СН1-2 180 или импортным TVR 10 181.

О дросселях. Дроссель L1 индуктивностью 100 мкГн взят из неисправного компьютерного блока питания. Он намотан на магнитопроводе «гантель» и опрессован термоусадочной трубкой. Дроссель можно изготовить самостоятельно, намотав на подходящем ферритовом стержне изолированным проводом диаметром 0,5—0,7 мм обмотку индуктивностью не менее 40 мкГн либо применить готовый серии ДМ-2. Обмотка дросселя L2 (магнитопровод Б26 из феррита 2000НМ1 с немагнитным зазором 1 мм) состоит из 160 витков провода ПЭВ-2 0,43.

Трансформатор. Магнитопровод трансформатора T1 — броневой БЗО из феррита 2000НМ1, собранный без зазора. Обмотку I (две секции по 12 витков) наматывают сложенным вдвое проводом ПЭВ-2 0,74 и надежно изолируют лакотканью от обмотки II, состоящей из 160 витков провода ПЭВ-2 0,35.

Через каждые два слоя обмоток трансформатора T1 и дросселя L2 также прокладывают изоляцию — слой лакоткани. Конец одной из секций обмотки I трансформатора T1 соединяют с началом другой ее секции — это средний вывод.

Трансформатор и дроссель L2 крепят к печатной плате винтами M2,5 через центральные отверстия магнито-проводов.

Проверка ЭПРА. При проверке ЭПРА отмечен повышенный нагрев конденсатора C9, поэтому его желательно выбрать с предельной рабочей температурой $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Конденсаторы C10 и C11 — пленочные, соответственно К73-17 и К78-2, на указанное на схеме напряжение. Остальные (кроме оксидных) — любые керамические или пленочные. Диоды КД522Б можно заменить 1N4148 или другими маломощными кремниевыми.

Детектор понижения напряжения КР1171СП10 можно заменить другим с меньшим пороговым напряжением. Но вход детектора в этом случае должен быть подключен к аккумуляторной батарее через резистивный делитель напряжения. При подборе замены учтите, что некоторые

детекторы (например, МС34064Р) отличаются назначением выводов. Отечественный стабилизатор напряжения КР1157ЕН802 аналогичен импортному 78L08.

Наладка. Налаживание ЭПРА начинают, разорвав цепь питания полевых транзисторов VT2 и VT3, например, не монтируя на плату дроссель L1. Напряжение питания на остальные узлы ЭПРА можно временно подать от какого-либо маломощного источника постоянного напряжения 12 В. Прежде всего, устанавливают (грубо — подбирая конденсатор С3, точно — подбирая резистор R7) требуемую частоту тактового генератора $f_T = 616$ кГц, что соответствует выходной частоте в рабочем режиме

$$616/18 = 34,2 \text{ (кГц)}.$$

Обратите внимание, что коэффициент деления частоты (18) принят вдвое большим коэффициента, указанного в даташите. Дело в том, что в приводимых там табличных значениях этого коэффициента не учтено деление частоты на два в выходном формирователе микросхемы КР1211ЕУ1. Имеется ошибка (лишний ноль после запятой в числителе) и в рекомендуемой этими источниками формуле расчета элементов частотозадающей цепи тактового генератора микросхемы. Правильная формула выглядит так

$$f_T = 0,7 / R7 C3$$

Установив дроссель L1 на место, подключают ЭПРА с лампой EL1 к аккумуляторной батарее (можно применить герметичную свинцово-кислотную на 12 В емкостью 7 А ч) через амперметр и измеряют потребляемый ток. Он должен быть:

- ♦ 1,1 А — в режиме подогрева;
- ♦ 2,5—4 А — при поджиге;
- ♦ 1,7 А — в рабочем режиме.

Амперметр нужен с низким внутренним сопротивлением. Например, при попытке измерить ток мультиметром М-890D после единичной вспышки лампы ЭПРА отключался, так как при повышенном в момент поджига потребляемом токе падение напряжения на измерительном приборе приводило к срабатыванию детектора понижения напряжения.



Совет.

Правильность работы защиты от пониженного напряжения желательно проверить, включив последовательно с исправной и заряженной аккумуляторной батареей вспомогательный реостат с максимальным сопротивлением несколько омов. ЭПРА

включают при нулевом сопротивлении реостата, а затем, контролируя напряжение питания устройства вольтметром, постепенно, до срабатывания защиты, увеличивают сопротивление. При напряжении 10—10,5 В лампа должна погаснуть, а светодиод HL1 — включиться.

Далее ЭПРА отключают от аккумулятора, извлекают из арматуры лампу EL1 и, вновь подав на ЭПРА номинальное напряжение, немедленно проверяют осциллографом наличие импульсов на стоке (теплотводе) одного из полевых транзисторов. Через 5 с после включения импульсы должны прекратиться. Повторную проверку можно проводить только после саморазрядки конденсатора C2 (на что требуется не менее минуты), либо разрядив этот конденсатор принудительно.

После установки лампы устройство готово к эксплуатации. Этот ЭПРА может работать с любыми люминесцентными лампами мощностью не более 20 Вт, в том числе импортными. Как правило, достаточно изменить индуктивность дросселя L2.

Расчет в Ballast Designer. Чтобы найти требуемое значение, воспользуйтесь программой автоматизированного проектирования Ballast Designer. На первом после ее запуска шаге проектирования укажите питающее напряжение «80 to 140VAC/300VDC».

Этот вариант наиболее близок к режиму работы лампы в нашем ЭПРА. На втором шаге выберите из предлагаемого программой списка лампу используемого типа или ее близкий аналог. Третий шаг — выбор любого из предлагаемых контроллеров, например, IR21571. Интересующие нас параметры от типа контроллера не зависят. Схему включения лампы «Single lamp/current-mode heating» укажите на четвертом шаге, в завершение (пятый шаг) подайте команду «Design Ballast».

Из полученных программой результатов нас интересуют:

- ♦ L_{RES} — индуктивность дросселя;
- ♦ f_{RES} — резонансная частота колебательного контура;
- ♦ f_{pniN} — частота подаваемого на лампу в рабочем режиме напряжения.

Как правило, расчетная емкость конденсатора C11 остается равной 0,01 мкФ, поэтому приходится заменить лишь дроссель L2. Немагнитный зазор между половинами магнитопровода в большинстве случаев можно оставить равным 1 мм, что эквивалентно зазору 2 мм на его центральном стержне. С таким зазором насыщение магнитопровода дросселя даже в момент поджига маловероятно, что связано с повышенным внутренним

сопротивлением трансформаторного источника напряжения по сравнению с сетевым полумостовым.

При пересчете ЭПРА на работу с лампой ТС-EL мощностью 7 Вт (это наиболее близкий аналог имевшейся лампы F6T5/54) с прежней емкостью конденсатора С11 индуктивность дросселя L2 увеличилась до 3,7 мГн. Расчетное значение рабочей частоты для этой лампы — 34,8 кГц, что всего на 0,6 кГц больше ранее установленной 34,2 кГц. Было решено не менять частотоподающую цепь контроллера, ограничившись заменой дросселя.

На магнитопроводе, аналогичном примененному в трансформаторе Т1, были намотаны 170 витков провода ПЭВ-2 0,35. Измеренная индуктивность дросселя оказалась равной 4,1 мкГн (больше расчетной). Однако до проверки работоспособности ЭПРА было решено дроссель не перематывать. Без каких-либо изменений были оставлены все другие элементы ЭПРА.

Пробное включение. Пробное включение показало эффективный прогрев и уверенный поджиг лампы, четкое срабатывание защиты при имитации неисправностей, а также достаточно хорошее совпадение рабочего режима с номинальным (отклонение — не более 10 %). Потребляемый от аккумуляторной батареи ток — приблизительно 0,7 А, что позволяет оставлять дежурное освещение включенным на всю ночь, не опасаясь полной разрядки батареи.

Плата. Изготовленный ЭПРА размещен в спаянном из фольгированного стеклотекстолита корпусе размерами 155×67,5×40 мм, служащим одновременно подставкой для аккумуляторной батареи.

Однотактные преобразователи

Довольно часто для реализации электронных балластов, работающих от низковольтных источников питания, используют однотактные повышающие преобразователи. Достоинством этих преобразователей является низкая стоимость реализации. Среди различных схем предельной простотой отличается однотактный автогенераторный преобразователь, схема которого приведена на рис. 3.71.

Рассмотрим кратко принцип его работы. Трансформатор Т1 — линейный дроссель; интервалы накопления энергии в нем и передачи накопленной энергии в нагрузку разнесены во времени. На рис. 3.72 показаны временные диаграммы, поясняющие работу преобразователя.

При подключении питающего напряжения $U_{\text{пит}}$ через резистор R1 начинает проходить ток базы транзистора VT1. Диод VD1 препятствует

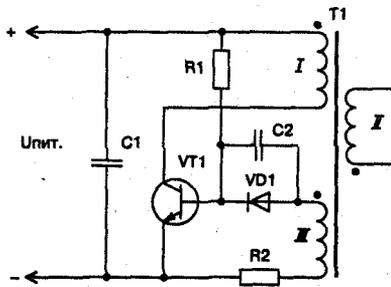


Рис. 3.71. Схема однотактного преобразователя

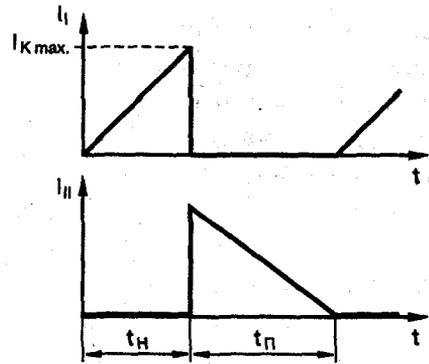


Рис. 3.72. Форма тока в обмотках трансформатора:
 I_I — ток первичной обмотки трансформатора;
 I_{II} — ток вторичной обмотки;
 t_H — интервал накопления энергии в дросселе;
 $t_П$ — интервал передачи энергии в нагрузку

прохождению тока по цепи базовой обмотки, а шунтирующий его конденсатор $C2$ увеличивает положительную обратную связь (ПОС) на этапе формирования фронтов напряжения. Транзистор приоткрывается, замыкается цепь ПОС через трансформатор $T1$, в котором происходит регенеративный процесс накопления энергии. Транзистор $VT1$ входит в насыщение. К первичной обмотке трансформатора приложено напряжение питания, и ток I_I (ток коллектора I_K транзистора $VT1$) линейно нарастает.

Ток базы I_B насыщенного транзистора определяется напряжением на обмотке III и сопротивлением резистора $R2$. Когда ток коллектора I_K достигнет значения

$$I_{K \max} = h_{219} \times I_B \quad (1),$$

где h_{219} — статический коэффициент передачи тока транзистора $VT1$, транзистор выходит из режима насыщения.

Развивается обратный регенеративный процесс: транзистор закрывается, и энергия, накопленная трансформатором, передается в нагрузку. После уменьшения тока вторичной обмотки вновь начинается этап накопления энергии. Интервал времени $t_П$ максимален при включении преобразователя, когда конденсатор $C3$ разряжен, и напряжение на нагрузке равно нулю.

Рассматриваемая схема является функциональным преобразователем источника напряжения питания $U_{ПИТ}$ в источник тока нагрузки I_H .

Важно отметить, поскольку этапы накопления энергии и ее передачи разнесены во времени, максимальный ток коллектора транзистора не зависит от тока нагрузки, т. е. преобразователь полностью защищен от замыканий на выходе. Однако при включении преобразователя без нагрузки (режим холостого хода) всплеск напряжения на обмотке трансформатора в момент закрывания транзистора может превысить максимально допустимое значение напряжения «коллектор-эмиттер» и вывести транзистор из строя.

Недостаток простейшего преобразователя — зависимость тока коллектора $I_{K \max}$, а следовательно, и выходного напряжения от статического коэффициента передачи тока транзистора VT1. Поэтому параметры источника питания будут значительно отличаться при использовании различных экземпляров транзисторов.

Преобразователь, использующий «самозащищенный» переключательный транзистор

Гораздо более стабильными характеристиками обладает преобразователь, использующий «самозащищенный» переключательный транзистор. На рис. 3.73 показана схема преобразователя с защитой по току коллектора ключевого транзистора.

Пилообразное напряжение с резистора R3, пропорциональное току первичной обмотки трансформатора, подано на базу вспомогательного транзистора VT2. Как только напряжение на резисторе R3 достигнет порога открывания транзистора VT2 (около 0,6 В), он откроется и ограничит ток базы транзистора VT1, что прервет процесс накопления энергии в трансформаторе. Максимальный ток первичной обмотки трансформатора

$$I_{1 \max} = I_{K \max} = 0,6/R3 \quad (2)$$

оказывается мало зависящим от параметров конкретного экземпляра транзистора. Естественно, рассчитанное по формуле (2) значение ограничения тока должно быть меньше тока, определенного по формуле (1) для наилучшего значе-

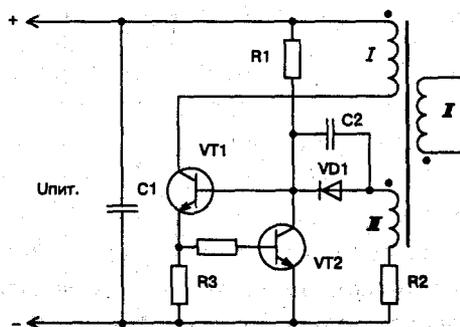


Рис. 3.73. Схема преобразователя с защитой по току коллектора

ния статического коэффициента передачи тока. Далее рассмотрим практические схемы реализации электронных балластов.

Электронный балласт в светильнике с двумя ЛЛ по 6 Вт

Основа светильника, схема которого показана на рис. 3.74, — блокинг-генератор на транзисторе VT3. Резистор R7 ограничивает ток базы транзистора. Диод VD1 защищает устройство от подключения к источнику питания (аккумуляторной батарее) в неправильной полярности.

Источниками освещения служат две соединенные последовательно линейные ЛЛ EL1 и EL2 мощностью по 6 Вт (например, китайская TS F6T5). Светильник проверен и с одиночными ЛЛ мощностью 6 и 18 Вт. По соотношению яркости и потребляемого тока выбор был сделан в пользу двух ЛЛ по 6 Вт.



Примечание.

Индикатор разрядки батареи не обязателен (все входящие в него элементы можно на плату не устанавливая), но он очень полезен, особенно при использовании аккумуляторной батареи сравнительно небольшой емкости (например, мотоциклетной).

Индикатор состоит из светодиода HL1, транзисторов VT1, VT2, резисторов R1—R5, конденсатора C1 и представляет собой триггер Шмитта. Чтобы достичь достаточно малой ширины петли гистерезиса триггера, номиналы резисторов R1 и R3 пришлось увеличить, а номинал резистора

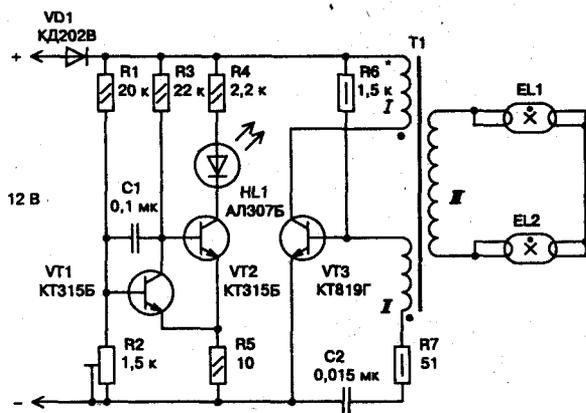


Рис. 3.74. Схема светильника с двумя ЛЛ по 6 Вт

положительной обратной связи R5 — уменьшить. Резистор R4 ограничивает ток через светодиод HL1. Конденсатор C1 — помехоподавляющий.

Пока аккумуляторная батарея заряжена в достаточной степени, транзистор VT1 открыт, так как на его базе напряжение больше порога открывания. Транзистор VT2 закрыт — его участок «база-эмиттер» зашунтирован открытым транзистором VT1. Светодиод HL1 погашен. По мере разрядки батареи напряжение на базе транзистора VT1 снижается, транзистор VT1 начнет закрываться.

За счет положительной обратной связи процесс протекает лавинообразно. В результате транзистор VT1 закрывается полностью, VT2 открывается, светодиод HL1 зажигается. В дежурном режиме индикатор потребляет не более 1 мА, а после срабатывания — приблизительно 5 мА. Весь узел питания ЛЛ смонтирован на печатной плате из односторонне фольгированного стеклотекстолита, показанной на рис. 3.75.

В преобразователе использованы постоянные резисторы МЛТ указанной на схеме мощности. Подстроечный резистор R2 — многооборотный СП5-3. Конденсатор C2 — К73-9, в качестве C1 подойдет любой малогабаритный. Транзисторы VT1, VT2 — серий КТ315, КТ3102 с любыми буквенными индексами. Диод VD1 должен быть рассчитан на

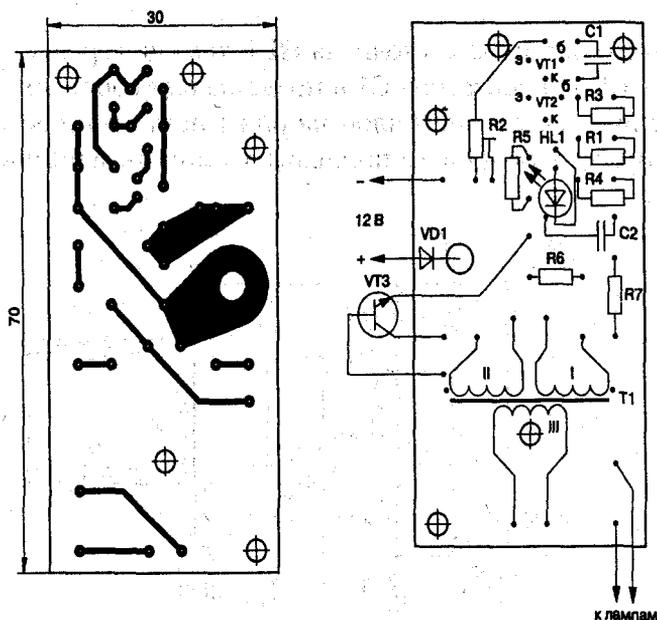


Рис. 3.75. Печатная плата преобразователя

ток, не меньший потребляемого светильником от батареи, а он, в свою очередь, зависит от мощности установленных ЛЛ.

При одной лампе мощностью 6 Вт здесь можно применить диод из серии КД226. Светодиод HL1 — любого цвета свечения, но лучше красного, наиболее подходящего для сигнализации о ситуации, требующей вмешательства. Из нескольких транзисторов серий КТ815, КТ817, КТ819, опробованных в качестве VT3, указанный на схеме КТ819Г обеспечил надежное включение ЛЛ.

Кроме того, у него достаточно большой запас по предельному току и напряжению. Последний особенно необходим при случайном отключении нагрузки от работающего генератора. Например, транзистор КТ815Б с максимальным напряжением коллектор-эмиттер 25 В исправно работал, пока не оборвался один из проводов, соединяющих ЛЛ с обмоткой III трансформатора Т1. Транзистор был немедленно пробит.

Магнитопровод трансформатора Т1 — Б22 из феррита 2000НМ1. Обмотки I (9 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,45 мм) и II (10 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,3 мм) начинают наматывать одновременно двумя проводами виток к витку. После девятого витка конец обмотки I закрепляют в прорези каркаса, затем доматывают последний виток обмотки II.

Каркас с готовыми обмотками I и II тщательно пропитывают парафином и оборачивают тонкой бумагой в два слоя, проглаживая каждый слой жалом разогретого паяльника. В результате бумага впитывает излишки парафина и плотно прилегает к проводам обмоток, фиксируя их и обеспечивая необходимую изоляцию. Далее наматывают высоковольтную обмотку III.

Для одной ЛЛ она должна содержать 180, для двух, соединенных последовательно, — 240—250 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,16 мм. Витки укладывают внавал, стараясь распределить их как можно равномернее. Нужно следить, чтобы те из них, которые находятся в начале и в конце обмотки, не касались друг друга. Например, очень нежелательно помещать оба вывода обмотки III в одну и ту же прорезь каркаса. Катушку еще раз пропитывают парафином и вставляют в магнитопровод, который собирают с зазором 0,2 мм между чашками, используя для этого прокладку из бумаги или тонкой пластмассы.

Трансформатор Т1 крепят к плате винтом из немагнитного материала, пропущенным через центральное отверстие магнитопровода. Такой способ, в отличие от сборки на клею, обеспечивает надежную фиксацию трансформатора на плате, а при необходимости — быстрый демонтаж.

Светильник собирают на деревянном (фанерном) основании размерами 280×75×6 мм. В верхней части основания параллельно друг другу располагают две ЛЛ, в нижней — печатную плату, накрытую кожухом из алюминиевого листа. В кожухе предусматривают отверстия для светодиода HL1 и соединительных проводов, в том числе двух многожильных с зажимами «крокодил» для подключения к аккумуляторной батарее. Транзистор VT3 крепят к кожуху, используя последний в качестве теплоотвода.

ЛЛ устанавливают на два приклеенных к основанию деревянных бруска сечением 15×10 мм. Один из них располагают у верхней кромки основания, другой — ниже, на расстоянии, равном длине ЛЛ без выводов (215 мм). Под выводами ламп на брусках устанавливают контакты из жести. Контакт на верхнем бруске служит одновременно перемычкой между двумя ЛЛ, а к двум на нижнем подключают выводы обмотки III трансформатора T1.

ЛЛ крепят четырьмя ввинченными между их выводами шурупами. В контактах необходимо заранее просверлить отверстия под шурупы, а под головки последних обязательно подложить шайбы. Такой способ крепления обеспечивает надежное соединение ЛЛ с трансформатором и позволяет заменять лампы, не прибегая к паяльнику. Для лучшей светоотдачи основание под лампами оклеивают светоотражающей пленкой или фольгой.

Перед первым включением светильника обязательно проверяют качество соединения ЛЛ с обмоткой III трансформатора T1. Плохой контакт может привести к пробое не только транзистора VT3, но и трансформатора. Если после подачи напряжения питания отсутствует даже слабое свечение ЛЛ, следует поменять местами выводы одной из обмоток I или II трансформатора T1. Затем подбирают резистор R6, добиваясь требуемой яркости и учитывая, что вместе с ней растет ток, потребляемый от аккумуляторной батареи. Обычно достаточной яркости удается достичь при токе 600—650 мА. Если яркость необходимо регулировать плавно, резистор R6 можно заменить двумя, соединенными последовательно, — постоянным 680 Ом и переменным 3,3 кОм. При регулировке потребляемый ток будет изменяться приблизительно от 0,2 до 1,4 А.

Чтобы настроить индикатор разрядки батареи, последнюю временно заменяют регулируемым источником постоянного напряжения с максимальным его значением не менее 12 В. Если источник маломощный, следует предварительно выключить блокинг-генератор, отпаяв от контактной площадки один из выводов обмотки I трансформатора T1. Вращая движок подстроечного резистора R2, добиваются, чтобы светодиод HL1 зажегся при уменьшении напряжения источника с 12 до 10,8—11 В.

Порог срабатывания индикатора выбирают несколько большим минимального напряжения, до которого можно разряжать аккумуляторную батарею (10,5 В) с тем, чтобы после зажигания светодиода светильник не требовалось выключать немедленно.

Варианты электронного балласта, реализованные по схеме однотактного автогенераторного преобразователя

На рис. 3.66 показаны еще два варианта электронного балласта, реализованные по схеме однотактного автогенераторного преобразователя.

Как нам уже известно, ЛЛ имеет различающиеся напряжение зажигания и напряжение горения. Первое — с холодными нитями накала — составляет примерно 1000—1200 В. Будем считать его равным 1200 В (по максимуму), общим для всех ламп. При зажигании разряда в лампе напряжение на ней падает (до 55—60 В на ЛЛ мощностью до 20 Вт и 100—125 В на ЛЛ мощностью 30—40 Вт; это — напряжение горения). Ток при этом может возрастать практически до разрушения лампы. Поэтому его нужно ограничить.

В преобразователях, схемы которых показаны на рис. 3.76, довольно удачно используется выходное напряжение на фронте выходного импульса, когда напряжение возрастает до U_3 — ЛЛ зажигается, далее напряжение падает до U_T — лампа горит, пока передается ей накопленная в трансформаторе энергия (рис. 3.77).

Обмотка трансформатора рассчитывается на рабочее (U_T) напряжение. Подбирая трансформатор, учитываем, что для напряжения зажигания (U_3) следует задавать значение напряжения на виток обмотки не

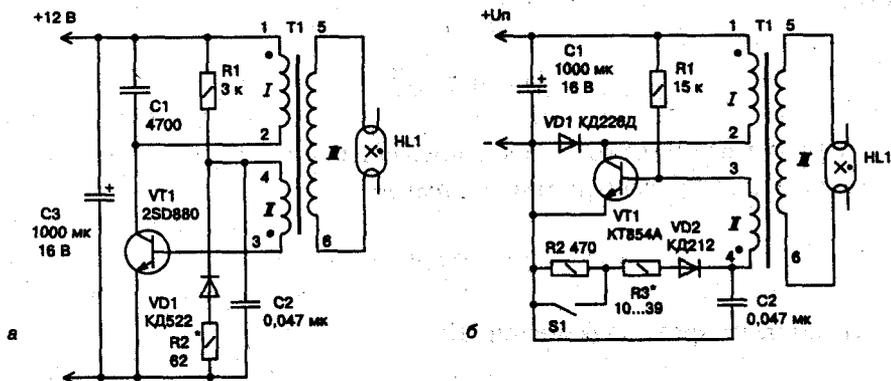


Рис. 3.76. Схемы однотактного преобразователя
а — на 2SD880; б — на KT854A

более 10—15 В/вит. (при 20—24 В/вит. наблюдается неустойчивый поджиг).

Расчет трансформатора. Дано: аккумулятор напряжением $U = 12,6$ В. Требуется: зажечь ЛЛ мощностью $P_{\text{л}} = 20$ Вт. Для нее $U_3 = 1200$ В, $U_{\Gamma} = 55$ В. Количество витков обмотки III (рис. 3.76, а) — n_3 :

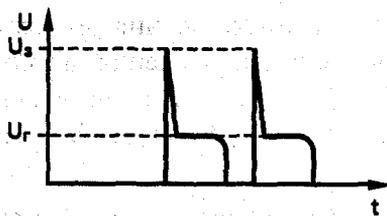


Рис. 3.77. Форма выходного напряжения

$$n_3 = U_3 / (10 \dots 15) = 1200 / (10 \dots 15) = 120 \dots 80 \text{ витков.}$$

Возьмем 110 витков.

Тогда для U_{Γ} будет составлять

$$110 / 55 = 2 \text{ (вит./В).}$$

Напряжение в первичной (коллекторной) обмотке составит

$$U - U_{\text{вт.нас}} = 12,6 - 1,6 = 11 \text{ (В);}$$

$$n_1 = 11 \times 2 = 22 \text{ (витка).}$$

Количество витков в обмотке II (базовой) будет составлять

$$n_2 = (0,33 \dots 0,25) \times n_1 = (0,33 \dots 0,25) \times 22 = 7,33 \dots 5,5 \text{ (витка).}$$

Можно взять 5...7 витков. Диаметр d провода рассчитывается как обычно:

$$d = 0,7 \cdot \sqrt{I}$$

(это, конечно, весьма грубо — ток импульсный, но для оценки подходит).

Рабочий ток ЛЛ рассчитаем по формуле

$$I_{\text{нл}} = P_{\text{л}} / U_{\Gamma} = 20 / 55 = 0,36 \text{ (А),}$$

поэтому диаметр провода обмотки III

$$d_3 = 0,7 \cdot \sqrt{I_3} = 0,7 \cdot \sqrt{0,36} = 0,42 \text{ (мм).}$$

Берем провод ближайшего стандартного диаметра.

Коэффициент трансформации для обмотки I:

$$K_1 = n_1 / n_3 = 110 / 22 = 5.$$

Ток в обмотке I составляет

$$I_1 = K_1 \times I_{HL} = 5 \times 0,36 = 1,8 \text{ (A)}.$$

Диаметр провода обмотки I рассчитаем по формуле

$$d_1 = 0,7 \cdot \sqrt{I_1} = 0,7 \cdot \sqrt{1,8} = 0,94 \text{ (мм)}.$$

Берем провод диаметром 1 мм.

Диаметр провода обмотки II d_2 можно взять равным 0,42 мм.

Ферритовый сердечник для ламп мощностью до 30 Вт можно применить от ТДКС-19 ($S = 1,1 \text{ см}^2$), или использовать кольцо К40×25×11 ($S = 0,825 \text{ см}^2$). Кольцо осторожно разламывается; на одной его половине наматывают обмотки I и II, одну над другой, с изоляцией между ними, например, изолянтной.



Внимание.

Разносить обмотки нельзя! На другой половине кольца мотается обмотка III, виток к витку, без перехлестов, с изоляцией между слоями (можно изолянтной).

Кольцо склеивается эпоксидной смолой. В качестве материала для магнитных зазоров используется тетрадный лист. Если ЛЛ меньшей мощности, то и феррит можно взять с меньшим сечением.

Для ЛЛ на 30 и 40 Вт можно применить ферритовый сердечник от ТДКС-9-1 ($S = 2,07 \text{ см}^2$).

Транзистор автогенератора выбирается из следующих условий:

$$\begin{aligned} I_{K \max} &= 5-10 \text{ A;} \\ U_{KЭ \max} &\geq 260 \text{ В.} \end{aligned}$$

Лучше все-таки взять $U_{KЭ \max}$ более 300 В. Хорошо, если еще подобрать транзистор и по минимальному $U_{\text{нас}}$. В схему можно поставить КТ854А или КП955А. Если такого нет, то, увеличивая число витков

обмотки III, можно понизить $U_{кэ}$ до допустимого для имеющегося транзистора.

По мощности потерь

$$P_{\text{пот}} = U_{\text{нас}} \cdot I_1 \text{ Вт,}$$

рассчитывается радиатор для транзистора.

В схеме (рис. 3.74) R2 задает $P_{\text{вых}}$. Если добавить резистор и выключатель S1 (как на рис. 3.76, б), получится два режима — P_{MAX} и P_{MIN} .

Между коллектором и эмиттером VT1 обязательно нужно поставить ВЧ-диод (КД226Г, КД226Д), поскольку в отечественных транзисторах внутренние защитные диоды не предусмотрены.

ЭПРА, позволяющий регулировать яркость лампы

Данный однотактный преобразователь позволяет регулировать яркость лампы и устанавливать ее такой, чтобы энергия батареи расходовалась более экономно. На рис. 3.78 показана его схема.

Преобразователь состоит из задающего генератора и однотактного усилителя мощности. Генератор выполнен на элементах DD1.1—DD1.3. Такой генератор позволяет изменять скважность импульсов (т. е. отношение периода следования импульсов к их длительности) переменным резистором R1, что определяет яркость ЛЛ. К генератору подключен буферный элемент DD1.4.

Сигнал с DD1.4 подается на усилитель мощности, выполненный на транзисторах VT1, VT2. Нагрузка усилителя — ЛЛ (EL1), подключен-

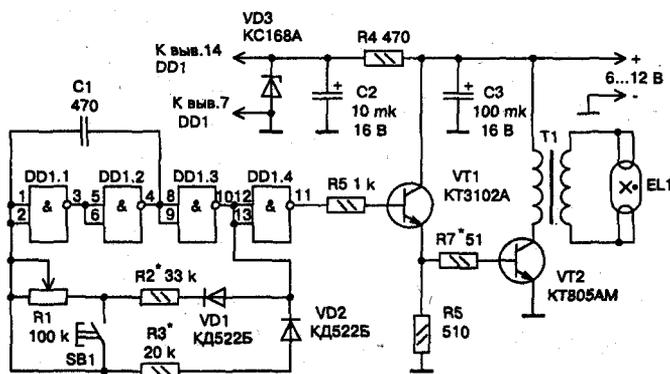


Рис. 3.68. Схема однотактного преобразователя с регулировкой яркости

ная через повышающий трансформатор Т1. Допустимо подключать лампу как с замкнутыми выводами нитей накала (показано на схеме), так и с разомкнутыми. Иначе говоря, целостность нитей накала лампы не играет роли.

Питается преобразователь от источника постоянного тока напряжением 6—12 В, способного отдавать в нагрузку ток до нескольких ампер (в зависимости от мощности лампы и установленной яркости). Питание на микросхему поступает через параметрический стабилизатор, в котором работают балластный резистор R4 и стабилитрон VD3. При минимальном питающем напряжении стабилизатор практически не действует, но это не сказывается на работе преобразователя.

Кроме указанных на схеме, допустимо использовать транзисторы КТ3117А, КТ630Б, КТ603Б (VT1), КТ926А, КТ903Б (VT2), диоды серии КД503 (VD1, VD2), стабилитрон Д814А (VD3). Конденсатор С1 — КГ, КМ, К10-17, остальные — К50-16, К52-1, К53-1. Переменный резистор — любой конструкции (например, СП2, СП3), постоянные — ОМЛТ-0,125. Лампа — мощностью от 6 до 20 Вт.

Трансформатор намотан на броневом магнитопроводе из феррита 2000НМ1 наружным диаметром 30 мм. Обмотка I содержит 35 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,45 мм, обмотка II — 1000 витков ПЭВ-2 диаметром 0,16 мм. Обмотки разделены несколькими слоями лакоткани.

Для повышения надежности обмотку II необходимо разделить на несколько слоев, прокладывая между ними лакоткань. Чашки магнитопровода собирают с зазором 0,2 мм и стягивают винтом и гайкой из немагнитного материала. С несколько худшими результатами (соотношением «яркость — потребляемый ток») будет работать трансформатор, выполненный на магнитопроводе от строчного трансформатора телевизора.

Налаживание преобразователя начинают с проверки задающего генератора при отключенном выходном каскаде усилителя. К выводу 11 микросхемы подключают осциллограф и наблюдают импульсы, показанные на верхней диаграмме рис. 3.79.

Затем устанавливают движок переменного резистора в левое

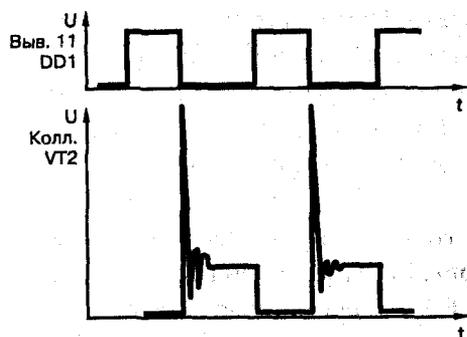


Рис. 3.79. Форма напряжения в контрольных точках

по схеме положение «СОПРОТИВЛЕНИЕ ВВЕДЕНО». Измеряют длительность импульсов и период их следования. Подбором резистора R3 добиваются длительности импульсов примерно 20 мкс, а подбором резистора R2 — периода следования, равного приблизительно 50 мкс. Перемещая после этого движок из одного крайнего положения в другое, убеждаются в изменении периода следования импульсов при неизменной их длительности.

Далее подключают выходной каскад, осциллограф соединяют с коллектором его транзистора, а в цепь питания включают амперметр со шкалой на 2—3 А. Перемещением движка добиваются «пробоя» (резкого увеличения яркости) лампы и контролируют диапазон изменения яркости и потребляемого тока при различных положениях движка резистора. Наблюдают форму импульсов на коллекторе транзистора VT2 — на рис. 3.79 внизу.

Такая форма получилась при работе преобразователя с лампой ЛБ 18. Возможно, придется точнее подобрать резисторы R2, R7, а в некоторых случаях установить переменный резистор другого номинала, чтобы достигнуть необходимых пределов изменения яркости и приемлемого потребляемого тока.

В режиме минимальной яркости, которой соответствует в зависимости от питающего напряжения и мощности лампы ток 250—400 мА, запуск генератора, а значит, включение лампы, удобнее осуществлять нажатием на кнопку SB1. Иногда нелишне попробовать изменить полярность включения лампы и проверить надежность ее зажигания в этом режиме.

Оценить эффективность работы преобразователя с разными транзисторами, трансформаторами, изменениями режимов и т. д. можно так. На расстоянии примерно 0,5 м от лампы укрепляют фотодиод или фоторезистор и подключают к нему омметр. Измеряют его сопротивление при горячей лампе и фиксированном токе потребления преобразователя. Далее проводят замену детали, резистором R1 устанавливают прежний ток и измеряют сопротивление фотоэлемента. Если оно уменьшилось, значит, яркость лампы возросла; результат эксперимента можно считать наилучшим.

Задающий генератор можно реализовать и на широко распространенном таймере КР1006ВИ1 (LM555). На рис. 3.80 приведена такая схема.

Здесь времязадающие резисторы R2, R3 — переменные, в результате чего параметры импульсов и частоту можно менять в широких пределах (рис. 3.80, а), а вариант подключения, показанный на рис. 3.80, б, позво-

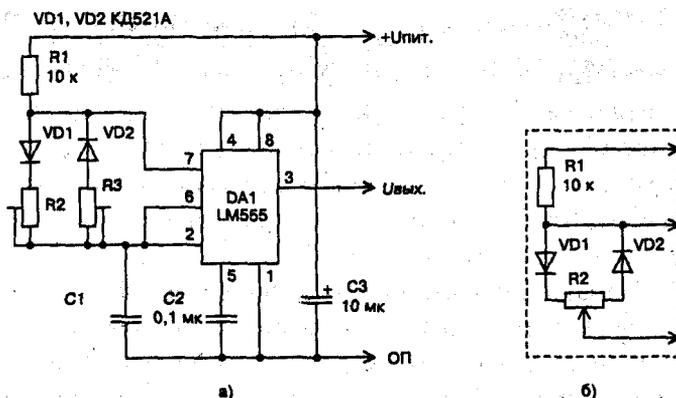


Рис. 3.80. Схема задающего генератора на таймере КР1006ВИ1 (LM555)

ляет изменять ширину импульсов у генератора при неизменной частоте. Частота в этом случае определяется по формуле

$$f = \frac{0,722}{(R1 + 0,5 \cdot R2) \cdot C1}, \text{ кГц.}$$

Диапазон регулировки скважности зависит от соотношения резисторов $R1, R2$.

Вместо усилителя мощности, выполненного на транзисторах VT1, VT2, R7, R7 (см. рис. 3.78), можно применить в усилителе мощности полевой транзистор КП743, IRF510, BUZ21L, SPP21N10 и т. п. ($R5$ уменьшить до 100 Ом). Схемы такого варианта представлены на рис. 3.81.

Не лишним будет и защита с помощью специального защитного стабилитрона — сапрессора (TRANSIL, TVS, TRISIL) VD1, VD2. Диод VD3 — быстродействующий с малым временем восстановления.

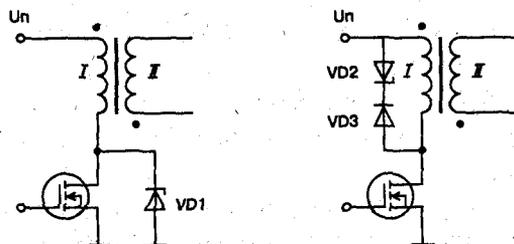


Рис. 3.81. Схема усилителя мощности на полевом транзисторе

3.4. Ballast Designer — автоматизированное проектирование электронных балластов

Назначение программы

Разработка высокочастотных электронных балластов (высокочастотных электронных пускорегулирующих аппаратов — ЭПРА) для люминесцентных ламп — сложная инженерная задача со многими неизвестными, требующая определенных знаний и немалых затрат времени.

Для упрощения создания электронных балластов компания Amber Valley Software Solutions предлагает программу автоматизированного проектирования Ballast Designer, последняя версия программы имеется на диске.

В качестве основы для проектирования Ballast Designer использует новейшие микросхемы контроллеров ПРА, разработанные и выпускаемые компанией International Rectifier, в том числе снабженные функцией управления яркостью (диммер) свечения лампы.

Программа освобождает от рутинной работы по выбору элементов и длительного трудоемкого расчета элементов схемы и моточных изделий, давая возможность восполнить недостаток опыта, что особенно ценно для любительских разработок. Полученный в результате комплект документов достаточен для изготовления рассчитанного ПРА.

Начало работы

После запуска программа Ballast Designer предлагает на выбор две процедуры проектирования — стандартную и расширенную. По умолчанию используется стандартная, представляющая возможность выбирать подходящие варианты из трех схем входного узла, 39 типов ламп, соединенных по семи различным схемам, и микросхем контроллера пяти типов (IR2156, IR21571, IR21592, IR2166, IR2167).



Примечание.

С выходом новых версий программы Ballast Designer ее возможности, в том числе список поддерживаемых микросхем, могут быть изменены. Приведенные здесь сведения относятся к версии 3.0.40, доступной в период подготовки книги.

Предоставляется возможность корректировать исходные данные, например, предельные отклонения напряжения в сети или параметры

ламп. В процессе автоматического проектирования будут выбраны оптимальные значения амплитуды и частоты напряжения, прикладываемого к лампе в режимах подогрева, поджига и горения, обеспечивающие максимальный срок службы лампы, качество освещения и КПД устройства.

Расширенная процедура проектирования дает пользователю возможность изменять более 20 параметров, включая частоту, напряжение и ток лампы в различных режимах, и номиналы основных компонентов схемы. Предусмотрен даже калькулятор параметров дросселей.



Внимание.

Для правильной работы программы необходимо, чтобы в установках Windows (Мой компьютер → Панель управления → Язык и стандарты → Числа) в качестве десятичного разделителя была указана точка, а не привычная русскоязычному пользователю запятая. В противном случае программа Ballast Designer выводит на экран сообщение об ошибке и прекращает работу.

При успешном запуске программы на экране появится окно, показанное на рис. 3.82.

Стандартная процедура проектирования состоит из пяти последовательных шагов:

Шаг 1 — выбор схемы питания и напряжения, использования или нет активного корректора мощности;

Шаг 2 — выбор типа лампы;

Шаг 3 — выбор микросхемы;

Шаг 4 — выбор количества, схемы соединения и питания ламп;

Шаг 5 — проектирование балласта, синтез принципиальной схемы, расчет элементов.

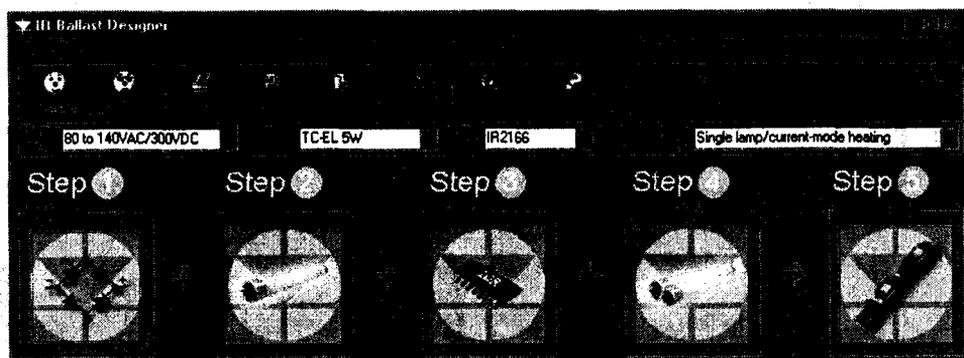


Рис. 3.82. Начальное окно программы Ballast Designer

Чтобы выполнить стандартную процедуру проектирования, достаточно поочередно нажать пять кнопок, расположенных под надписями **Step 1 — Step 5** (шаг 1 — шаг 5), и на каждом шаге сделать выбор из предлагаемых программой вариантов.

Шаг 1 — выбор схемы выпрямителя сетевого напряжения

После нажатия на кнопку **[Line Input]**, расположенную под надписью «Step 1» (рис. 3.83), появляется окно выбора конфигурации входных цепей **Select Line Input** (рис. 3.84).

Перемещая движок в нижней части окна, выбирают один из доступных вариантов выпрямительного узла (рис. 3.85).

Доступны следующие варианты.

1. **Active PFC** (Power Factor Correction — с активным корректором мощности, рис. 3.85, а).
2. **Full Bridge Rectifier** (мостовая схема выпрямления переменного напряжения сети без активного корректора мощности, рис. 3.85, б). Применима при сетевом напряжении от 185 до 265 В.
3. **Voltage Doubler** (по схеме удвоителя напряжения, рис. 3.85, в). Применима при сетевом напряжении от 90 до 140 В.
4. **User Designs** (параметры определяет пользователь).

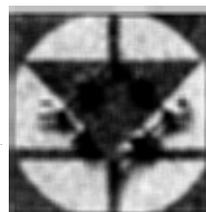


Рис. 3.83. Кнопка [Line Input]

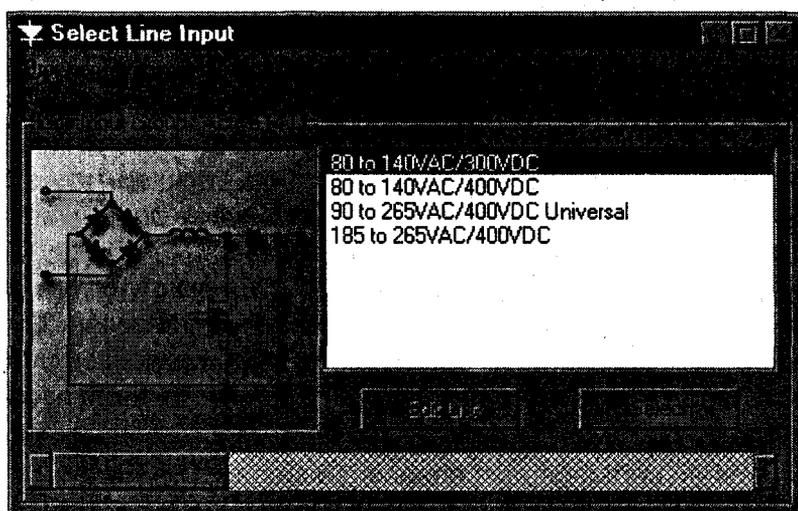


Рис. 3.84. Окно Select Line Input

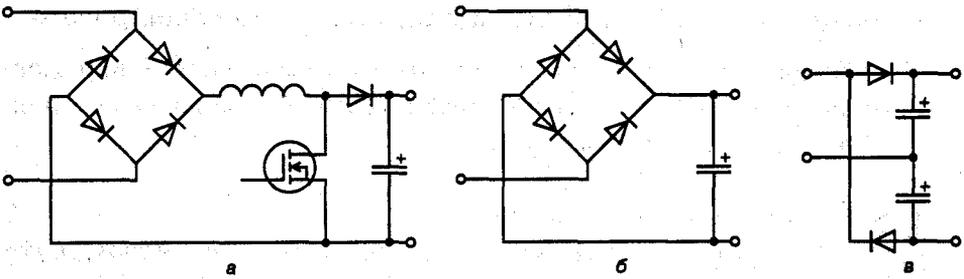


Рис. 3.85. Варианты выпрямительного узла

Для первого варианта входной цепи с активным корректором мощности доступны несколько диапазонов изменения входного сетевого напряжения и, соответственно, выходного напряжения:

- ♦ 80 to 140VAC / 300VDC;
- ♦ 80 to 140VAC / 400VDC;
- ♦ 90 to 265VAC / 400VDC Universal;
- ♦ 185 to 265VAC / 400VDC,

что обозначает переменное напряжение сети / постоянное на выходе корректора.

Перечисленные схемы поочередно появляются в окне, в соседнем окошке рядом со схемой — список нескольких вариантов допустимых пределов изменения сетевого напряжения.

В нем необходимо выделить строку с самым подходящим вариантом. Для завершения шага остается нажать кнопку [Select]. Выбранные пределы будут отображены в окошке «Input» над надписью «Step 1». Их можно изменить на любой стадии проектирования, нажав кнопку со стрелкой рядом с упомянутым окошком. Аналогичные возможности (кнопки в окошках «Lamp», «IC», «Configuration») предоставляются для изменения параметров, задаваемых на других шагах стандартной процедуры проектирования.

Схемы мостового выпрямителя (рис. 3.85, б) и выпрямителя с удвоением напряжения (рис. 3.85, в) хорошо знакомы читателям. О схеме, показанной на рис. 3.85, а, — с активным корректором коэффициента мощности (англ. Power Factor Corrector, PFC) — необходимо рассказать подробнее.

Особенности электронных балластов, как нагрузки электросети

Получившие большое распространение импульсные источники электропитания, к которым относятся и электронные балласты, — не слишком удачная нагрузка для электросети.



Примечание.

Они потребляют не синусоидальный, а импульсный ток, пиковое значение которого многократно превосходит эффективное. Высокочастотные составляющие спектра импульсов тока создают мощные помехи.

Недавно принятые рекомендации Международного Электротехнического Комитета МЭК 1000-3-2 устанавливают очень маленькие предельные уровни гармоник (вплоть до 39-й) в потребляемом токе при коэффициенте мощности, близком к 1. Действующие в странах СНГ стандарты пока таких жестких требований не предъявляют. Однако невыполнение рекомендаций МЭК влечет за собой неконкурентоспособность изделия, а в ряде случаев вообще закрывает ему доступ на мировой рынок.

Активный корректор коэффициента мощности

Активный корректор коэффициента мощности решает проблему, делая ток, потребляемый мостовым выпрямителем, близким по форме к синусоидальному. Корректор представляет собой импульсный повышающий преобразователь-стабилизатор напряжения. Благодаря его работе мощный импульс зарядного тока фильтрующего конденсатора (рис. 3.85, а) дробится на множество коротких импульсов, распределенных по периоду таким образом, что их среднее значение изменяется почти по синусоидальному закону. Образующиеся высокочастотные составляющие потребляемого тока сглаживает не показанный на упрощенной схеме входной фильтр.

При питании от сети 220 В выходное напряжение корректора обычно составляет 400 В. Оно стабилизировано, поэтому яркость свечения лампы остается постоянной при изменении напряжения сети в широких пределах. Контроллеры IR2166, IR2167 снабжены встроенным узлом управления корректором. При использовании других контроллеров программа Ballast Designer строит этот узел на базе микросхемы L6561 — специализированного контроллера PFC:

<http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/5109.pdf>.

Шаг 2 — выбор типа и мощности лампы

Нажимаем кнопку [Lamp] (рис. 3.86) открывается окно выбора типа и мощности лампы «Select Lamp» (рис. 3.87). В нем, перетягивая ползунок, находящийся внизу этого окна, можно выбрать одну из восьми доступных групп ламп (рис. 3.88).

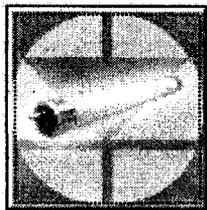


Рис. 3.86.
Кнопка [Lamp]

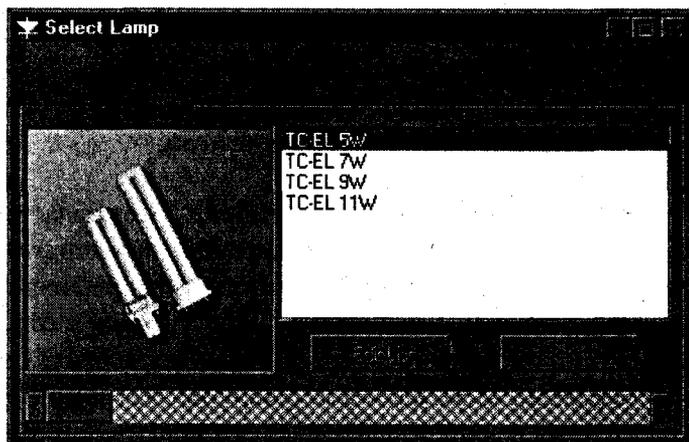


Рис. 3.87. Окно Select Lamp

Доступны компактные люминесцентные лампы серий TC-EL, TC-DEL, TC-T, Spiral, PL-L, линейные люминесцентные лампы с диаметром колбы 16 мм (T5), 26 мм (T8), 38 мм (T12). Последний из доступных вариантов выбора типа ламп — User Lamp: параметры определяет и задает пользователь.

Программа предусматривает возможность расширения перечня ламп и внесения в него информации о дополнительной группе ламп по выбору разработчика. Для этого необходимо перейти на конец перечня в левой части панели — User Lamp, для чего необходимо сдвинуть ползунок вправо до конца, и активировать кнопку [Edit List]. После этого на экране возникнет рабочая панель редактирования перечня ламп.

Каждый из типономиналов ламп специфицирован по следующим параметрам:

- ◆ мощность (Вт);
- ◆ напряжение запуска (В);
- ◆ максимальное напряжение подогрева (В);
- ◆ минимальное напряжение поджига (В);
- ◆ ток подогрева (А);
- ◆ время подогрева (с).

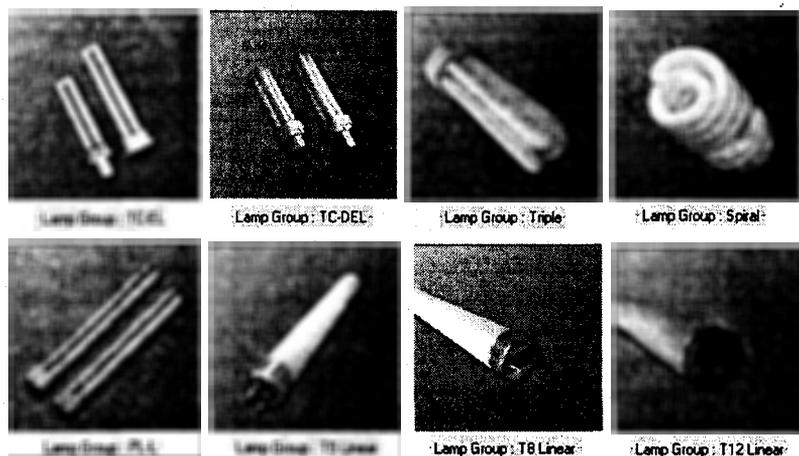


Рис. 3.88. Доступные варианты выбора типа ламп

Соответствие обозначений компактных люминесцентных ламп различных производителей (OSRAM, GE Lighting, PHILIPS) и обозначений, примененных в Ballast Designer, приведены в табл. 3.14.

Соответствие обозначений КЛЛ различных производителей и обозначений, примененных в Ballast Designer

Таблица 3.14

IR Ballast Design	OSRAM	GE Lighting	PHILIPS Lighting
TC-EL	DULUX® S/E	Biax S/E	PL-S
TC-DEL	DULUX® D/E	Biax D/E	PL-C
TC-T	DULUX® T/EDULUX® T/E IN	Biax T/E	PL-T
Spiral	-	-	-
PL-L	DULUX® LDULUX® L SP	Biax L	PL-L

Компактная люминесцентная лампа типа Spiral для работы с внешним электронным ПРА у всех рассмотренных производителей отсутствует. Технические характеристики компактных люминесцентных ламп OSRAM DULUX® приведены в табл. 3.15.

Технические характеристики КЛЛ OSRAM DULUX®

Таблица 3.15

Лампа OSRAM DULUX®	Напряжение лампы, В		Ток лампы, mA		Яркость, кд/см²	Световой поток, лм
	при 50 Гц	при ВЧ ПРА	при 50 Гц	при ВЧ ПРА		
DULUX S/E						
DULUX S/E 5W	35	27	180	190	2,5	250
DULUX S/E 7W	47	37	175	175	2,6	400

Таблица 3.15 (продолжение)

Лампа OSRAM DULUX®	Напряжение лампы, В		Ток лампы, мА		Яркость, кд/см ²	Световой поток, лм
	при 50 Гц	при ВЧ ПРА	при 50 Гц	при ВЧ ПРА		
DULUX S/E 9W	60	48	170	170	2,8	600
DULUX S/E 11W	91	75	155	150	2,7	900
DULUX D/E						
DULUX D/E 10W	64	51	190	190	4,0	600
DULUX D/E 13W	91	77	175	165	4,0	900
DULUX D/E 18W	100	80	220	210	4,5	1200
DULUX D/E 26W	105	80	325	300	5,5	1800
DULUX T/E						
DULUX T/E 13W	91	77	175	165	4,2	900
DULUX T/E 18W	100	80	220	210	4,7	1200
DULUX T/E 26W	105	80	325	300	6,0	1800
DULUX T/E 32W	-	100	-	320	6,5	2400
DULUX T/E 42W	-	135	-	320	7,0	3200
DULUX T/E 57W	-	182	-	320	7,0	4300
DULUX L						
DULUX L 18W	58	50	375	320	2,1	750
DULUX L 24W	87	75	345	300	2,1	1200
DULUX L 36W	106	90	435	360	2,8	1900
DULUX L 40W	-	126	-	320	2,3	2200
DULUX L 55W	-	101	-	550	3,2	3000
DULUX F						
DULUX F 18W	58	50	375	320	2,4	1100
DULUX F 24W	87	75	345	300	2,5	1700
DULUX F 36W	106	90	435	360	3,0	2800

Технические характеристики линейных люминесцентных ламп OSRAM с диаметром колбы 16 мм (T5); 26 мм (T8); 38 мм (T12) приведены в табл. 3.16.

Технические характеристики линейных ЛЛ OSRAM

Таблица 3.16

Люминесцентная лампа OSRAM, Вт /... тип	Диаметр, мм	Номинальный ток лампы, А	Напряжение на лампе после зажигания, В, ($\pm 10\%$)	Ток накала МЭК81, мА	Яркость, для ламп с цветностью, кд/см ²	
					840, 830, 820	стандартные
4	16	0,17	29	220	-	0,85
6	16	0,16	42	220	-	0,95
8	16	0,145	56	220	-	0,95
10	16	0,17	64	220	-	0,50
13	26	0,165	95	220	-	0,95
15	26	0,33	55	440	1,0	0,75
16	26	0,20	90	260	0,8	0,60

Таблица 3.16 (продолжение)

Люминесцентная лампа OSRAM, Вт /... тип	Диаметр, мм	Номинальный ток лампы, А	Напряжение на лампе после зажигания, В, ($\pm 10\%$)	Ток накала МЭКВ1, мА	Яркость, для ламп с цветностью, кд/см ²	
					840, 830, 820	стандартные
18	26	0,37	57	550	1,0	0,75
18/—U	26	0,37	60	550	—	—
20	38	0,37	57	550	—	0,55
22 C	29	0,37	62	600	—	0,70
30	26	0,365	96	550	1,2	0,90
32 C	30	0,425	81	675	0,9	0,75
36	26	0,43	103	650	1,2	0,86
36/—U	26	0,43	108	650	—	—
36/—UK	26	0,44	103	650	—	—
36-1	26	0,556	81	730	1,3	—
38	26	0,43	104	650	—	—
40	38	0,43	103	650	—	0,60
40 C	30	0,415	108	630	—	—
40/—K	38	0,88	52	—	—	—
58	26	0,67	110	1000	1,5	1,11
58/—U	26	0,67	115	1000	—	—
58/—UK	26	0,865	85	1300	—	—
65	38	0,67	110	1000	—	0,80

Люминесцентные лампы нового поколения с диаметром колбы 16 мм (тип T5), мощностью 14—80 Вт, с трехполосным люминофором ($R_a = 80—89$), с повышенными светоотдачей и световым потоком у OSRAM, PHILIPS, GE вынесены в отдельную группу.

Шаг 3 — выбор микросхемы драйверов-контроллеров электронных балластов

Нажимаем кнопку [Control IC] (рис. 3.89), появляется окно Select Target IC (рис. 3.90).

В этом окне, перетягивая ползунок, находящийся внизу этого окна, можно выбрать доступные микросхемы (рис. 3.91).

После выбора микросхемы контроллера и возвращения в главное окно программы можно посмотреть описание и справочные данные выбранной микросхемы на английском языке. Для этого необходимо нажать на кнопку [Datasheet] в верхней части главного окна программы (рис. 3.81). Для их просмотра на компьютере должна быть установлена программа Adobe Acrobat Reader.

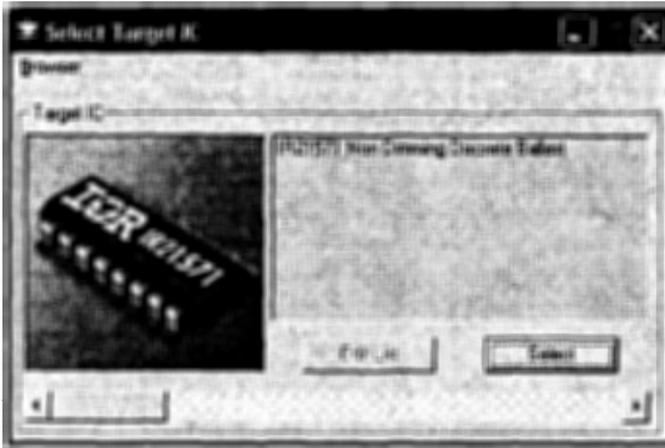


Рис. 3.89. Кнопка [Control IC]

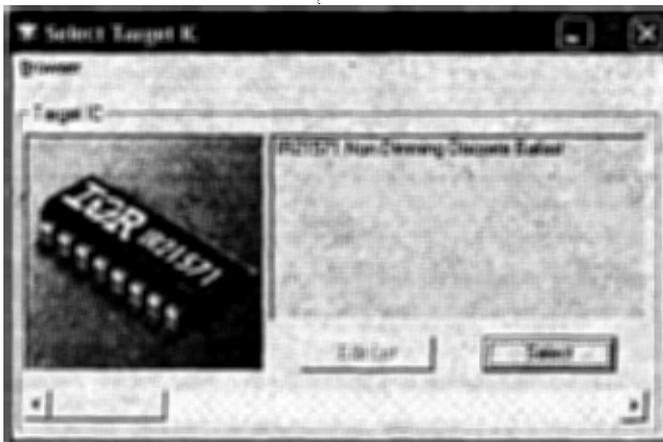


Рис. 3.90. Окно Select Target IC

В версии программы, действовавшей во время подготовки книги, предлагались следующие микросхемы: IR21571, IR2156, IR21592, IR2166, IR2167.

Контроллер электронных балластов IR21571 предоставляет возможность наиболее простого схемотехнического решения и простую адаптацию при смене типа лампы.

IR21571 имеет следующие функции:

- ♦ оптимальные параметры режимов запуска, предварительного подогрева катодов, зажигания, рабочего режима и автоматический переход из режима в режим;
- ♦ программируемое время и частоту подогрева катода;

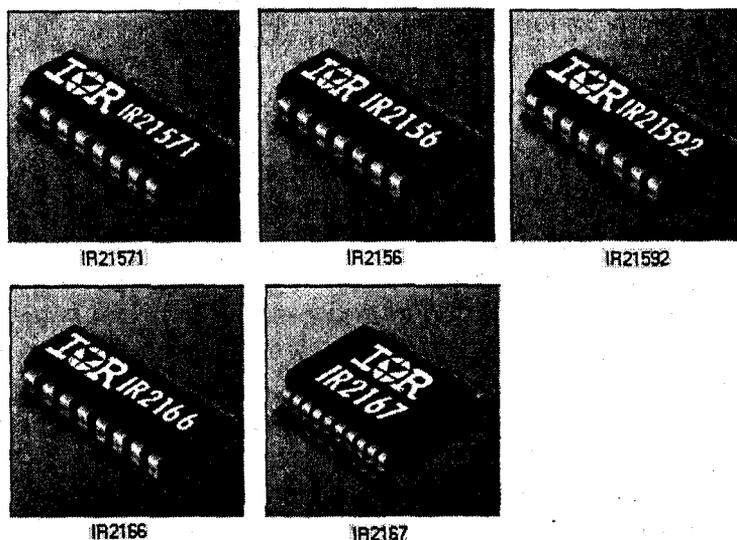


Рис. 3.91. Доступные для выбора микросхемы

- ♦ программируемое изменение параметров в режиме поджига;
- ♦ программируемую паузу для защиты от сквозных токов в ключах;
- ♦ ток в затворах ключей до 500 мА;
- ♦ микромощное потребление в режиме запуска;
- ♦ высокоточную стабилизацию 50 % скважности;
- ♦ контроль состояния и защиту нити электродов лампы;
- ♦ защиту от работы ниже резонанса;
- ♦ защиту от работы при пониженном питании с автоматическим перезапуском;
- ♦ защиту от выхода из строя и автоматический перезапуск при смене лампы;
- ♦ защиту от тепловой перегрузки;
- ♦ защиту от защелкивания для всех выводов;
- ♦ защиту от электростатического разряда.

Подробное описание работы микросхемы и справочную информацию (перевод фирменного datasheet) можно посмотреть в файле [IR21571ru.pdf](#), который находится на диске *f*.

Микросхема IR2156 — «младшая сестра» IR21571, отличается от нее отсутствием некоторых защитных функций.

Интегральная микросхема контроллера **IR21592** (диммер) является первой функционально законченной микросхемой для применения в балластах с регулировкой яркости. В этой микросхеме реализован новый

метод управления мощностью на лампе без применения разделительного трансформатора. Фазовое управление током полумоста позволяет осуществлять линейное изменение яркости лампы в широких пределах от 1 до 100 %.

Помимо режимов работы и функций защиты, реализованных в микросхеме IR21571, эта микросхема позволяет регулировать яркость путем изменения напряжения на входе DIM в диапазоне от 0,5 до 5 В и программировать минимальный и максимальный уровни яркости по входам MIN, MAX выбором номиналов резисторов R_{MIN} , R_{MAX} . Применение контроллера IR21592 дает возможность адаптировать балласты с постоянным уровнем мощности к режиму высококачественного регулирования мощности при внесении в его схему минимальных изменений.

Подробное описание работы подобных микросхем IR2159, IR21591 и справочную информацию (перевод фирменного datasheet) можно посмотреть в файле [IR2159ru.pdf](ftp://ftp.radio.ru/pub/2004/07/IR2159ru.pdf) (файл доступен по адресу <ftp://ftp.radio.ru/pub/2004/07/IR2159ru.pdf>).

Микросхемы IR2166, IR2167 снабжены, как уже отмечалось, встроенными контроллерами корректора коэффициента мощности с динамической адаптацией к режиму работы ПРА. Обеспечивается суммарный коэффициент гармоник менее 10 % и коэффициент мощности более 0,99 при питании от сетей с номинальным напряжением 120 и 220 В, что превышает требования большинства европейских стран и превосходит показатели многих специализированных микросхем управления корректором.

Шаг 4 — выбор числа ламп и схемы их соединения с ПРА

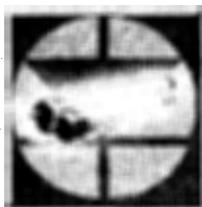


Рис. 3.92. Кнопка [Lamp Configuration]

Нажимаем кнопку [Lamp Configuration] (рис. 3.92), при этом появляется окно Select Lamp Configuration (рис. 3.93).

Производим требуемый выбор. Все доступные конфигурации соединения ламп показаны на рис. 3.94.

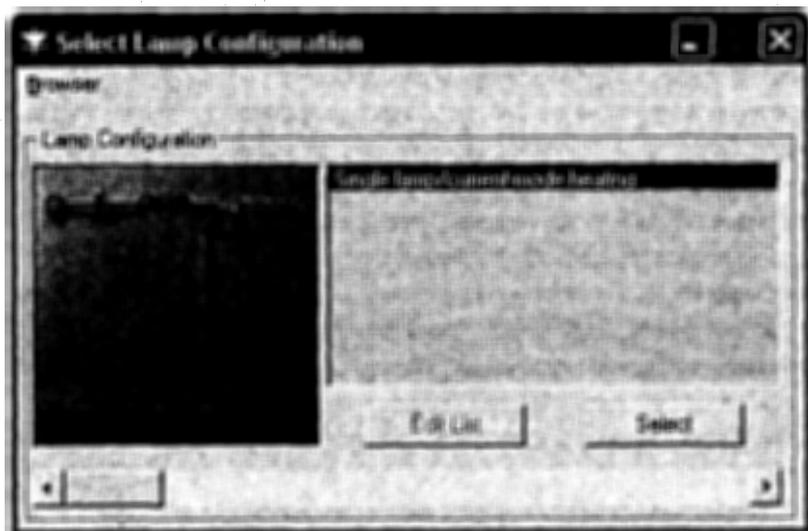


Рис. 3.93. Окно Select Lamp Configuration

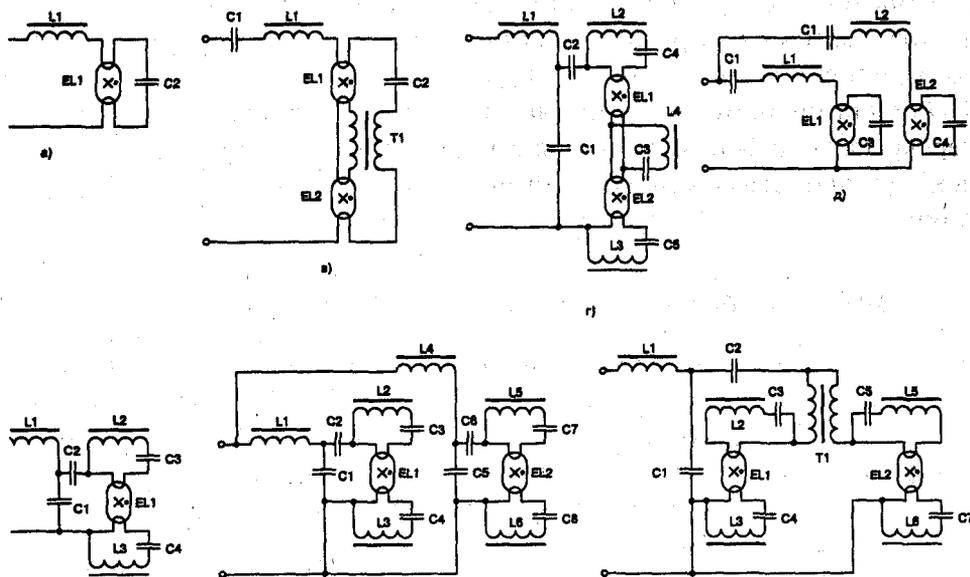


Рис. 3.94. Возможные конфигурации соединения ламп

Заключительный, пятый шаг

На этом этапе программа производит автоматическое проектирование ПРА. После нажатия на кнопку [Design Ballast] (рис. 3.95) на экране появляется окно с логотипом фирмы International Rectifier (рис. 3.96), в котором отмечается ход процесса проектирования, занимающего всего несколько секунд.

По завершении процесса проектирования открываются окна, в одном из которых находится принципиальная схема спроектированного устройства. Пример такой схемы (исходные данные: одна лампа Т8 36W, контроллер IR21592, мостовой выпрямитель без PFC) приведен на рис. 3.97.

Типы и номиналы элементов на схеме не указаны, а в отдельном окне выведен их перечень (англ. Bill of Materials, BOM). Цепи, выделенные на рис. 3.97 утолщенными линиями, должны быть выполнены по возможности короткими проводами большого сечения.

Еще одно или несколько окон содержат данные о имеющихся в спроектированном ПРА индуктивных элементах. Пример такого окна — на рис. 3.98.

Кроме номинальной индуктивности, максимальных тока и температуры здесь указаны все необходимые для изготовления дросселя или трансформатора данные:

- ♦ рекомендуемый типоразмер (core size);
- ♦ марка материала (core material) магнитопровода;
- ♦ толщина немагнитного зазора (gap length);
- ♦ число витков (turns);
- ♦ диаметр провода (wire diameter) обмотки.

Приводится даже эскиз конструкции и расположения выводов.

Для перехода к расширенной процедуре проектирования в глав-



Рис. 3.95. Кнопка [Design Ballast]



Рис. 3.96. Временное окно проектирования

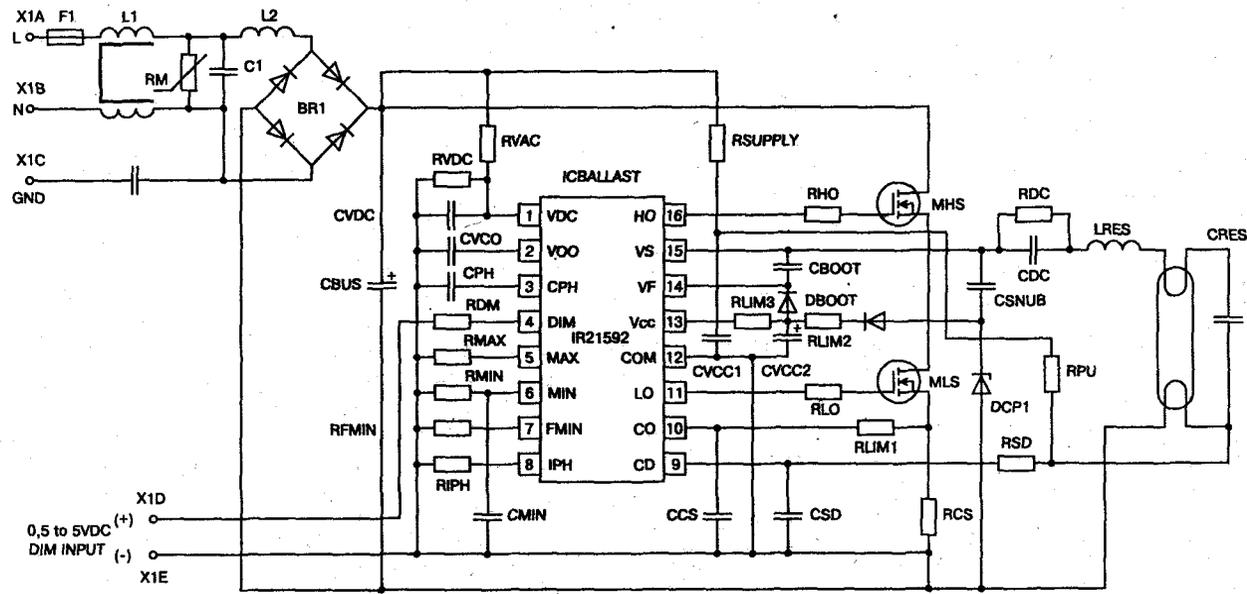


Рис. 3.97. Схема спроектированного балласта

International ICR Rectifier		INDUCTOR SPECIFICATION	
		TYPE : LRES (CURRENT MODE)	
CORE SIZE	<input type="text" value="E30/15/7"/>	GAP LENGTH	<input type="text" value="2.0"/> mm
BOBBIN	<input type="text" value="HORIZONTAL"/>	PINS	<input type="text" value=""/>
CORE MATERIAL	<input type="text" value="Philips 3C85, Siemens N27 or equivalent"/>		
NOMINAL INDUCTANCE	<input type="text" value="2.1"/>	mH	
MAXIMUM CURRENT	<input type="text" value="2"/>	Apk	
MAXIMUM CORE TEMPERATURE	<input type="text" value="100"/>	°C	
WINDING	START PIN	FINISH PIN	TURNS
MAIN			238
			WIRE DIAMETER (mm)
			0.2

ELECTRICAL LAYOUT	PHYSICAL LAYOUT

TEST (TEST FREQUENCY = 50kHz)	
MAIN WINDING INDUCTANCE	<input type="text" value="2.1"/> mH
MAX	<input type="text" value=""/>
MIN	<input type="text" value=""/>
MAIN WINDING RESISTANCE	<input type="text" value=""/>
MIN	<input type="text" value=""/>
MAX	<input type="text" value=""/>

NOTE 1: Inductor must not saturate at maximum current and maximum core temperature at given test frequency.

Рис. 3.98. Окно с спецификацией индуктивного элемента

ном окне программы (рис. 3.82) нужно нажать кнопку [Advanced] (рис. 3.99).

В результате главное окно программы будет преобразовано в показанное на рис. 3.100.

Оно обеспечивает доступ к значениям всевозможных параметров, которые можно изменять в процессе проектирования. Например, если нажать кнопку [Calculate] (рис. 3.101), можно получить в графическом виде (рис. 3.102) положение рабочей точки лампы (в координатах «напряжение-частота») в различных режимах и траекторию ее перемещения при их изменении.

Предоставляется возможность открыть окна проектирования

индуктивных элементов (кнопка [Inductor]) или выбора номиналов элементов, задающих режим работы микросхемы-контроллера ПРА (кнопка [Program IC]).



Рис. 3.99. Кнопка [Advanced]

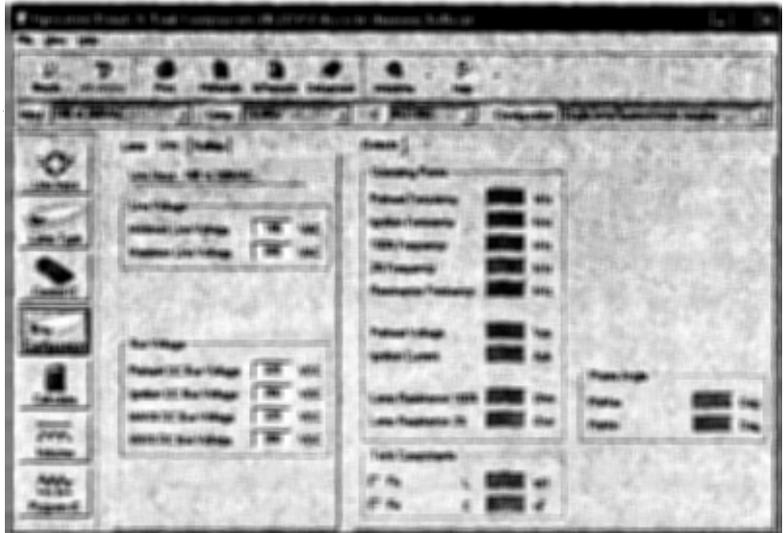


Рис. 3.100. Окно программы в расширенном режиме

Таким образом производится расчет и проектирование электронных балластов в программе Ballast Designer.

Еще раз хочу отметить, что с выходом новых версий программы Ballast Designer ее возможности, в том числе список поддерживаемых микросхем, могут быть изменены. Приведенные здесь сведения и методика работы относятся к версии 3.0.40, доступной в период подготовки книги в выходу в свет.

Успешной вам работы!

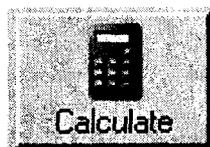


Рис. 3.101.
Кнопка [Calculate]

Single lamp/current-mode heating, 185 to 265VAC, T8 36W
IR21592, L = 2.10 mH, C = 10.00 nF

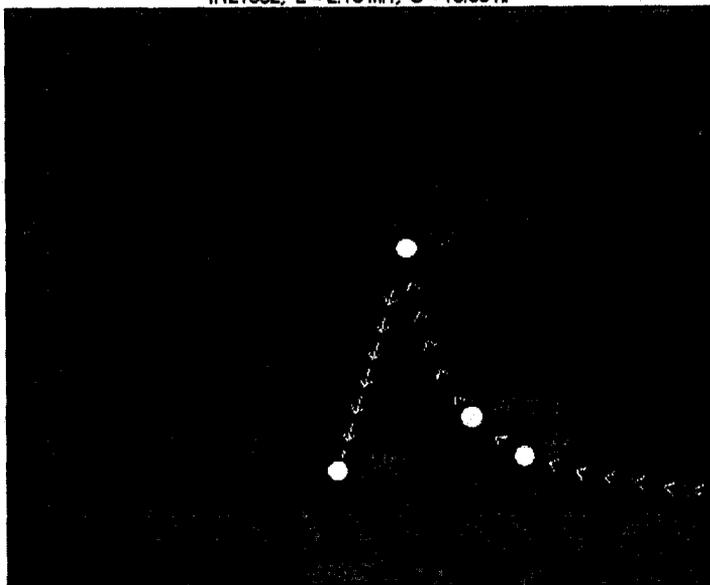


Рис. 3.102. График положения рабочей точки лампы

СВЕТОДИОДЫ — ЭФФЕКТИВНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

4.1. Создание и развитие светодиодов

Краткое определение

В последние годы мы стали свидетелями стремительного развития области техники, основанной на физике полупроводников — оптоэлектроники. Прежде всего, это проявилось в революционном совершенствовании светодиодов.



Краткое определение.

Светодиод — твердотельный полупроводниковый источник света.

Еще недавно светодиоды были всего лишь устройствами индикации, а сегодня это уже высокоэффективные источники света, которые в ближайшее время преобразят мир искусственного освещения.

Светодиоды в освещении уже перестали быть экзотикой и стали полноправными партнерами ламп накаливания и разрядных ламп. После бурных восторгов по поводу их появления приходит трезвое осмысление реальных возможностей и перспектив этих источников света. Попробуем разобраться, почему светодиодам пророчат большое будущее.

Изобретение светодиода

В 1907 году английский инженер Х. Д. Раунд, трудившийся во всемирно известной лаборатории Маркони, случайно заметил, что у работающего детектора вокруг точечного контакта возникает свечение. Всерьез же заинтересовался этим физическим явлением и попытался найти ему практическое применение «непостижимо талантливый русский» — Олег Владимирович Лосев.

Обнаружив в 1922 году во время своих ночных радиовахт свечение кристаллического детектора, этот, тогда еще 18-летний, радиолюбитель не ограничился констатацией «странного» факта, а незамедлительно перешел к оригинальным экспериментам. Стремясь получить устойчивую генерацию кристалла, он пропускал через точечный контакт диодного детектора ток от батарейки. Он имел дело с прототипом полупроводникового прибора, названного впоследствии **светодиодом**.

Лосев писал: «У кристаллов карборунда (полупрозрачных) можно наблюдать (в месте контакта) зеленоватое свечение при токе через контакт всего 0,4 мА... Светящийся детектор может быть пригоден в качестве светового реле как безинертный источник света» [11].

Весь мир заговорил об «**эффекте Лосева**», на практическое применение которого изобретатель успел получить (до своей гибели на войне в 1942 г.) четыре патента.

С 1951 года центр по разработке «полупроводниковых лампочек», действующих на основе «эффекта Лосева», переместился в Америку, где его возглавил К. Леховец (США). В исследовании проблем, связанных со светодиодами, принял самое деятельное участие и «отец транзисторов» физик **В. Шокли**.

Вскоре выяснилось, что германий (Ge) и кремний (Si), на основе которых делаются полупроводниковые триоды (транзисторы), бесперспективны для светодиодов из-за слишком большой «работы выхода» и, соответственно, слабого испускания фотонов на p-n переходе.

Успех же сопутствовал монокристаллам из **сложных композитных полупроводников соединений**:

- ♦ галлия (Ga);
- ♦ арсеникума (мышьяка — As);
- ♦ фосфора (P);
- ♦ индия (In);
- ♦ алюминия (Al).

Реализованы на практике эти идеи были лишь в 70-е годы после обнаружения эффективной люминесценции полупроводниковых соединений

типа $A^{III}B^V$ — фосфида (GaP) и арсенида (GaAs) галлия и их твердых растворов.

В итоге на их основе были созданы светодиоды. Таким образом был заложен фундамент новой отрасли техники — оптоэлектроники.

Первые промышленные светодиоды

Первые светодиоды, имеющие промышленное значение, были созданы в 60-е годы на основе структур GaAsP/GaP Ником Холоньяком (США) с красным и желто-зеленым свечением. Внешний квантовый выход был не более 0,1 %. Длина волны излучения этих приборов находилась в пределах 500—600 нм. Это область наивысшей чувствительности человеческого глаза. Поэтому яркость их желто-зеленого излучения была достаточной для целей индикации. Световая отдача светодиодов при этом составляла приблизительно 1—2 лм/Вт.

Дальнейшее совершенствование светодиодов проходило по двум направлениям:

- ♦ увеличение внешнего квантового выхода;
- ♦ расширение спектра излучения.

Велик вклад в эту работу советских ученых, в частности Ж. И. Алферова с сотрудниками, разработавших так называемые многопроходные двойные гетероструктуры. Это открытие позволило значительно увеличить внешний квантовый выход за счет ограничения активной области рекомбинации. Использовались гетероструктуры на основе арсенидов галлия-алюминия. При этом был достигнут внешний квантовый выход до 15 для красной части спектра (световая отдача до 10 Лм/Вт) и более 30 % — для инфракрасной.

Показателен факт присуждения Жоресу Ивановичу Алферову Нобелевской премии в 2000 году, когда стали очевидными важность и огромное значение его работ для развития науки и техники.

Создание светодиодов с синим свечением

Долгое время развитие светодиодов сдерживалось отсутствием приборов, излучающих в синем диапазоне. Попытки реализовать синие светодиоды и лазеры начались более 20 лет назад и были связаны с использованием кристаллов нитрида галлия GaN и селенида цинка ZnSe. Но возникли трудности в синтезе и легировании этих материалов. Ведь обычно их получают в виде эпитаксиальных пленок.

- Для выращивания пленок используют два технологических подхода:
- ♦ метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МБЕ — Molecular Beam Epitaxy) в условиях сверхвысокого вакуума;
 - ♦ метод осаждения пленок из металлоорганических соединений (МOCVD — Metalorganic Chemical Vapor Deposition).



Примечание.

Принципиально важно обеспечить совпадение периодов кристаллических решеток последовательных слоев с различным химическим составом, чтобы границы между соседними слоями не содержали дефектов и были резкими.

У светодиодов на основе SiC оказался слишком мал КПД и низок квантовый выход излучения (то есть число излученных квантов на одну рекомбинировавшую пару). У светодиодов на основе твердых растворов селенида цинка ZnSe квантовый выход был выше, но они перегревались из-за большого сопротивления и служили недолго. Оставалась надежда на нитриды.

Исследования свойств нитридов элементов группы III (AlN, GaN, InN) и их сплавов, представляющих собой широкозонные полупроводники с прямыми оптическими переходами, позволили заключить, что они являются наиболее перспективными материалами для изготовления свето- и лазерных диодов, излучающих во всей видимой и ультрафиолетовой (240—620 нм) областях спектра.

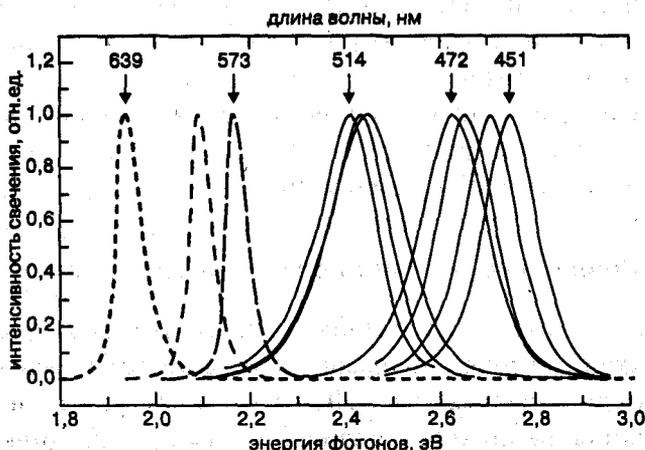


Рис. 4.1. Спектры электролюминесценции светодиодов на основе гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN (сплошные линии) и AlInGaP/GaP (штриховые)

Основной причиной, препятствовавшей получению высококачественных пленок GaN, было отсутствие подходящих подложек, параметры решетки и коэффициент теплового расширения которых соответствовали бы GaN. Долгое время такие пленки выращивали на сапфире (рассогласование решеток 13,5 %), достоинствами которого являются лишь термическая стойкость и возможность очистки перед началом роста.

Другая проблема — получение кристаллов р-типа. Первые работы в этом направлении были начаты еще в 60-е годы XX века, однако все попытки надежно внедрить элементы группы II (Mg, Zn, Be) как примеси замещения, которые бы действовали как акцепторы, завершились неудачей.

Еще в 70-х годах группа Дж. Панкова (J. Pankove, RCA, Princeton, USA) из лаборатории компании IBM создала фиолетовые и голубые диоды на основе эпитаксиальных пленок GaN нитрида галлия на сапфировой подложке. Квантовый выход был достаточен для практики (доли процента), но срок их службы был ограничен.

В р-области р-n-перехода концентрация дырок была мала, и сопротивление диодов оказалось слишком большим (из-за высокой концентрации дефектов), они довольно быстро перегревались и выходили из строя. При этом Панкову так и не удалось осуществить легирование р-типа. Работы Панкова в то время руководство фирмы IBM не поддержало. Но наука не стоит на месте, и удача улыбнулась японским ученым.

Основываясь на работах И. Акасаки (I. Akasaki) и его аспиранта Аmano (H. Amano) из Нагойского университета Шуджи, Накамура (Shuji Nakamura) из фирмы Nichia Chemical, после упорных поисков и экспериментов совершил прорыв в изготовлении голубых светодиодов.

29 ноября 1993 года компания «Nichia Chemical Industries Ltd.» объявила, что завершила разработку голубых светодиодов на основе GaN и планирует приступить к их массовому производству.

Лишь немногие даже в Японии когда-либо слышали о компании «Nichia». Эта компания никогда не значилась среди зарегистрированных в оптоэлектронной промышленности. И мало кто обратил внимание на пару статей, опубликованных незадолго до этого Ш. Накамурой, молодым исследователем из «Nichia». Но после появления столь сенсационного заявления все хотели узнать, кто такой Накамура и что представляет собой эта компания.

Шуджи Накамура родился в 1954 году на острове Шикоку, самом маленьком и наименее населенном из четырех главных островов Японии, где и расположена «Nichia». В 1979 году он окончил универси-

тет в Токушимае. К тому времени он уже имел семью и был занят поисками работы.

Пожалуй, у него была единственная возможность — устроиться в «Nichia», небольшую семейную химическую компанию, производящую люминофоры для цветных кинескопов, дилера корпорации SONY. Накамура не был вдохновлен перспективой работы в «Nichia», но ему повезло. Когда Накамура поступил на работу в «Nichia», его первым заданием было получение металлического Ga высокой чистоты. Справившись с ним, он переключился на выращивание монокристаллов GaAs и InP. Но когда компания попыталась выйти с продукцией на рынок, она не смогла конкурировать с таким гигантом, как «Sumitomo Electric».

Следующим заданием было получение эпитаксиальных пленок для изготовления светодиодов. Но и в этом случае «Nichia» не выдержала конкуренции с корпорацией «Toshiba». В итоге 10 лет ушло на получение металлов высокой чистоты, полупроводниковых соединений и пленок, но ни одно из этих направлений не привело к коммерческому успеху. Но теперь Накамура получил возможность решать самому, чем заниматься дальше, и выбрал создание сине-зеленых светодиодов.

Зная, что главной проблемой является получение подходящих материалов, а хорошим методом их выращивания — MOCVD (Metalorganic Chemical Vapor Deposition), метод осаждения пленок из металлоорганических соединений, он поехал для его освоения в университет штата Флорида (США). После посещения множества светодиодных конференций, Накамура вспоминал: *«Большинство университетов и компаний, в частности в Японии, работали с ZnSe. Но я уже имел горький опыт, что если занимаешься тем же, что делает кто-либо еще, то, когда доходит до выпуска продукции, оказывается, что ты не можешь ее продать. И я решил выбрать другой материал InGaN».*

Располагая своим более совершенным процессом обработки и уже апробированным методом выращивания хороших пленок на сапфире, Накамура не сомневался, что выиграет гонку у своего соперника:

«Я был уверен, так как в Японии, когда конкурируют университетский профессор и компания, компания обычно выигрывает, потому что университеты за короткое время не могут достать много денег».

Свой первый синий светодиод Накамура изготовил 28 марта 1991 года, но какое у него могло быть время жизни? Он оставил его включенным, когда уходил домой, а после бессонной ночи, придя рано утром в лабораторию, увидел, что диод еще светит.

И хотя излучение было не очень ярким, это была победа. Два с половиной года спустя после многочисленных улучшений к моменту появления знаменитого объявления Накамура изготовил диоды, излучавшие с силой света 1000 мккд. Еще через шесть месяцев компания объявила о выпуске 2000-мккд диода, который излучал настолько ярко, что на него больно было смотреть.

Первый коммерческий синий светодиод был сделан Накамурой в начале 1994 года на основе гетероструктуры InGaN/AlGaN с InGaN активным слоем, легированным Zn (рис. 4.2).

Выходная мощность составляла 3 мВт при прямом токе 20 мА с квантовым выходом (отношением числа инжектированных электронов к числу образовавшихся фотонов) 5,4 % на длине волны излучения 450 нм.

В 1995 году при еще меньшей толщине слоя InGaN и более высоком содержании In удалось повысить силу света до 10 кд на длине волны 520 нм, а квантовую эффективность до 6,3 %, причем время жизни светодиодов составляло 5×10^4 ч (измеренное), а по теоретическим оценкам — более 10^6 ч (~150 лет!).

Накамура запатентовал ключевые этапы технологии, и к концу 1997 года фирма Nichia выпускала уже 10—20 млн голубых и зеленых светодиодов в месяц. Дела компании стремительно понеслись вверх.

В 2001 году Накамура переходит работать в университет Калифорнии в Санта-Барбаре. Сюдзи Накамура совмещает сейчас две должности

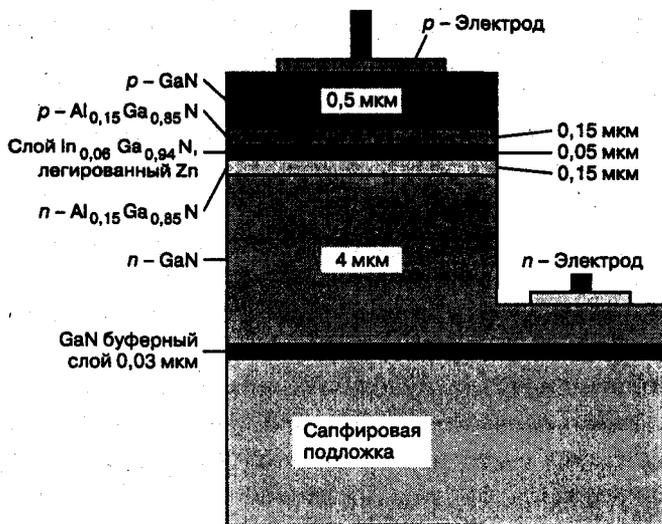


Рис 4.2. Строение гетероструктуры синего светодиода

он — профессор Инженерного колледжа Калифорнийского университета в Санта Барбара и консультант компании Cree Inc., крупнейшего в мире производителя светоизлучающих кристаллов, лидера в производстве кристаллов на подложке из карбида кремния основного конкурента Nichia в производстве синих и белых светодиодов. Но судьба не перестает улыбаться Сюдзи Накамуре и по сей день.

Восьмого сентября в Хельсинки президент Финляндии Тарья Халонен вручила международную премию «Миллениум» в миллион евро лауреату 2006 года — пятидесятидвухлетнему физику Сюдзи Накамуре за создание синих, белых светодиодов и синих лазеров.



Примечание.

*Синий лазер из нитрида галлия с длиной волны (405 нм) позволяет обеспечить в четыре-пять раз большую плотность записи информации на дисках. На рынке уже появились диски с пометкой **Blue-Ray** или **HD-DVD**, то есть диски с высокой плотностью записи информации (**HD** — high density).*

Появление сверхъярких голубых и зеленых светодиодов в России

Интересна также история появления сверхъярких голубых и зеленых светодиодов в России. Об этом рассказывает профессор МГУ Александр Эммануилович Юнович, один из ведущих российских специалистов в области оптоэлектроники:

«Люминесценцию карбида кремния впервые наблюдал Олег Владимирович Лосев в Нижегородской радиотехнической лаборатории в 1923 г. и показал, что она возникает вблизи р-п-перехода.

Первая научная статья о кристаллах нитрида галлия была опубликована профессором МГУ Г. С. Ждановым в 30-х гг. Люминесценцию в гетероструктурах на основе арсенида галлия впервые исследовали в лаборатории Ж. И. Алферова в 60-х гг. и показали, что можно создать структуры с внутренним квантовым выходом близким к 100 %. Разработки структур и светодиодов на основе нитрида галлия велись в ленинградских Политехническом и Электротехническом институтах, в Калуге, в Зеленограде в 70-х гг., но они тогда не привели к созданию эффективных голубых светодиодов.

В 1995 году я прочел первые статьи Накамур и понял, что «голубая проблема» в принципе решена. Тогда же я получил грант соросов-

ского фонда. В декабре на эти деньги я смог поехать на конференцию в США, и там профессор Жак Панков познакомил меня с Ш. Накамурой. Я забросил наживку: мол, хочу приобщить студентов Московского университета к передовым достижениям в области голубых светодиодов и рассказать им о столь замечательном изобретении. Рыбка клюнула, и в феврале я получил от д-ра Ш. Накамуры из Японии бандеролью 10 светодиодов от фиолетового до зеленого.

Все потом оказалось просто — фирма Nichia Chemical начинала выпуск светодиодов на рынок и была заинтересована в научной рекламе. В лаборатории МГУ мы их досконально исследовали, сняли все характеристики и получили новые научные результаты. Д-р Ш. Накамура дал любезное согласие на совместную публикацию наших первых статей.

Одновременно специалисты из группы Бориса Ферапонтовича Тринчука в Зеленограде продемонстрировали образцы зеленых светодиодов начальникам из ГАИ и получили положительный отзыв. Все дело в том, что эта группа сделала опытный образец светодиодного светофора, но у них не было хороших зеленых светодиодов. Светофоры с новыми сверхъяркими зелеными светодиодами намного превосходили светофоры с лампами, и московское правительство сделало заказ на 1000 светодиодных светофоров к 850-летию Москвы. Такое везение!

Как раз тогда у нас гостила киргизская скрипачка Райкан Карагулова — выпускница Московской консерватории, ученица моей жены, которая работала в Японии первым концертмейстером симфонического оркестра в Осаке. Выяснилось, что место ее работы находится неподалеку от фирмы Nichia Chemical! Б. Ф. Тринчук дал ей тысячу долларов и попросил купить на них и прислать на мой адрес 200 зеленых светодиодов. Из них были изготовлены первые светофоры из той юбилейной тысячи. Москва стала первым в мире городом с массовым применением светодиодных светофоров. Внешний вид такого светофора представлен на рис. 4.3.

Наши ученые и инженеры в НИИ «Сапфир» пытались повторить достижение японцев и изготовить структуры на основе нитридов для голубых и зеленых светодиодов на старой эпитаксиальной установке, которую пришлось модернизировать, чтобы достичь более высо-



Рис. 4.3. Светодиодный светофор

ких температур и давлений. Но инициатива заглохла из-за отсутствия денег и интереса руководства.»

Изобретение синих светодиодов замкнуло «RGB-круг» и сделало возможным получение светодиодов белого свечения (белые СД).

4.2. Устройство и принцип работы светодиодов

Принцип действия светодиода



Определение.

Светодиод (сокращенно СИД — светоизлучающий диод, в английском варианте LED — light emitting diodes) — это полупроводниковый прибор с электронно-дырочным p-n переходом или контактом металл-полупроводник, генерирующий (при прохождении через него электрического тока) оптическое (видимое, УФ, ИК) излучение.

Напомню, что p-n-переход — это «кирпичик» полупроводниковой электронной техники, представляющий соединенные вместе два куска полупроводника с разными типами проводимости (один с избытком электронов — «n-тип», второй с избытком дырок — «p-тип»). Если к p-n переходу приложить «прямое смещение», т. е. подсоединить источник электрического тока плюсом к p-части, то через него потечет ток.

Нас интересует, что происходит после того, как через прямо смещенный p-n переход пошел ток, а именно **момент рекомбинации** (соединение) носителей электрического заряда — электронов и дырок, когда имеющие отрицательный заряд электроны «находят пристанище» в положительно заряженных ионах кристаллической решетки полупроводника. Оказывается, что такая рекомбинация может быть излучательной, при этом в момент встречи электрона и дырки выделяется энергия в виде излучения кванта света — фотона.

Но не всякий p-n-переход излучает свет. Почему? Во-первых, ширина запрещенной зоны в активной области светодиода должна быть близка к энергии квантов света видимого диапазона. Во-вторых, вероятность излучения при рекомбинации электронно-дырочных пар должна быть высокой. Для этого полупроводниковый кристалл должен содержать

мало дефектов, из-за которых рекомбинация происходит без излучения. Эти условия в той или иной степени противоречат друг другу.

Но чтобы соблюсти оба условия, одного р-п-перехода в кристалле оказывается недостаточно. Приходится изготавливать многослойные полупроводниковые структуры, так называемые **гетероструктуры**. За изучение этих структур российский физик Жорес Ж. И. Алферов (академик, директор Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе, лауреат Ленинской премии) получил золотую медаль Американского физического общества за исследования гетероструктур на основе $Ga_{1-x}Al_xAs$ еще в 70-х годах.

В 2000 г., когда стало ясно, как велико значение этих работ для развития науки и техники, насколько важны их практические применения для человечества, ему была присуждена Нобелевская премия.

Какое строение имеет светодиод?

Самая распространенная конструкция светодиода — традиционный 5-миллиметровый корпус. Конечно, это не единственный вариант «упаковки» кристалла. На рис. 4.4 показано строение традиционного 5-миллиметрового светодиода.

Светодиод имеет два вывода — **анод** и **катод**. На катоде расположен алюминиевый параболический рефлектор (отражатель). Он внешне выглядит, как чашеобразное углубление, на дно которого помещен светоизлучающий кристалл. **Активный элемент** — полупроводниковый монокристалл — в большинстве современных 5-мм светодиодах используется в виде кубика (чипа) размерами $0,3 \times 0,3 \times 0,25$ мм, содержащего р-п или гетеропереход и омические контакты.

Кристалл соединен с анодом при помощи перемычки из золотой проволоки. Оптически прозрачный полимерный корпус являющийся одновременно фокусирующей линзой вместе с рефлектором определяют угол излучения (диаграмму направленности) светодиода.

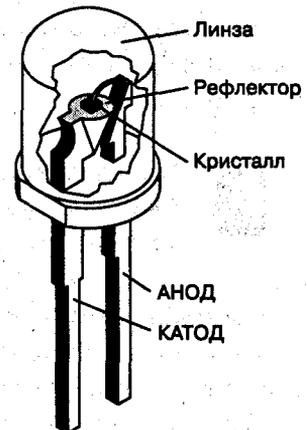


Рис. 4.4. Строение традиционного 5-миллиметрового светодиода

Основные определения

Для характеристики светодиодов используют следующие термины и величины.



Определение.

Квантовый выход — это число излученных квантов света на одну рекомбинировавшую электронно-дырочную пару.

Различают внутренний и внешний квантовый выходы. **Внутренний** — в самом р-п-переходе, внешний — для прибора в целом (ведь свет может теряться «по дороге» — поглощаться, рассеиваться). Внутренний квантовый выход для «хороших» кристаллов с мощным теплоотводом достигает почти 100 %, рекорд внешнего квантового выхода для красных светодиодов составляет 55 %, а для синих — 35 %.

Внешний квантовый выход — одна из основных характеристик эффективности светодиода.



Определение.

Светоотдача — количество излучаемых люменов на единицу потребляемой мощности люмен/ватт (лм/Вт).

Этот параметр показывает, сколько энергии, поступающей на светодиод, превращается в свет, а сколько — в тепло. Чем выше этот параметр, тем лучше.



Определение.

Световой поток — величина, характеризующая количество излучаемого (поглощаемого или отраженного) света.

Световой поток представляет собой мощность излучения, оцененную с позиции его воздействия на зрительный аппарат человека. Единица светового потока — люмен (лм).

Важное значение имеют также такие параметры светодиода как:

- ♦ сила света;
- ♦ угол и диаграмма направленности излучения.



Определение.

Сила света светодиода представляет собой количество светового потока, излучаемое вдоль выбранного направления в пространстве.

Как правило, сила света излучателя зависит от направления излучения. Единица силы света — кандела (кд). Упрощенно можно считать, что сила света показывает, какую долю светового потока отдает источник в рассматриваемом направлении.

Для каждой конструкции светодиода, а также типа кристалла, характерна определенная диаграмма излучения. Поэтому некорректно говорить о силе света, не определяя угол излучения, и наоборот.



Примечание.

Следует обращать внимание, на каком уровне от максимума прямого тока светодиода фиксируется полный угол излучения.

Если поместить интересующий нас светодиод в центр окружности, разбитой на 360 секторов, а потом обойти вокруг него и измерить в каждом секторе силу света, то получится очень распространенный в светотехнике график, называемый **кривой силы света (КСС)**. Некоторая сложность в чтении этого графика заключается в том, что он составляется не в привычной прямоугольной, а в так называемой **полярной системе координат**.

Первой координатой является собственно значение силы света, откладываемой по прямой оси. **Вторую координату** представляет собой угол поворота этой оси относительно нулевого направления. Таким образом, по графику КСС можно без труда определить силу света источника в любом направлении

Не менее важным параметром является **яркость** светодиода или освещенной им поверхности. Подобно силе света, **яркость** характеризует количество света, излучаемого или отражаемого в данном направлении, однако не в абсолютном выражении, а в отношении к площади излучающей (переизлучающей) поверхности. Таким образом, источник площадью 1 м² и силой света 10 кд будет иметь такую же яркость, как источник площадью 0,5 м² и силой света 5 кд, несмотря на то, что световые потоки и силы света этих источников будут различны. Тем не менее, их поверхности будут восприниматься человеческим глазом, как разные по размеру, но одинаково яркие, в этом и заключается физиологический смысл понятия яркости. Яркость измеряется в **канделах на квадратный метр (кд/м²)**.

4.3. Строение мощных светодиодов

Принципы получения белого свечения

Изобретение синих светодиодов замкнуло «RGB круг» и сделало возможным получение светодиодов белого свечения. Существует 4 способа создания белых СД со своими достоинствами и недостатками. Первый способ — смешение излучения СД трех или более цветов.

На рис. 4.5 показано получение белого света путем смешивания в определенной пропорции излучения красного, зеленого и синего светодиодов.

В принципе, такой способ должен быть наиболее эффективным. Для каждого из СД — красного, зеленого или синего можно выбрать значения тока, соответствующие максимуму его внешнего квантового выхода излучения. Но при этих J (ток СД) и V (рабочее напряжение СД) интенсивности каждого цвета не будут соответствовать значениям, необходимым для результирующих цветовых координат в области белого цвета.

Этого можно достигнуть, изменяя число диодов каждого цвета и составляя источник из многих диодов. Для практических применений этот способ встречает неудобства, поскольку нужно иметь несколько источников различного напряжения, много контактных вводов и устройства, смешивающие и фокусирующие свет от нескольких или более СД.



Примечание.

Даже наиболее качественные RGB-светодиоды характеризуются тем, что получаемое при освещении ими поверхности световое пятно хотя и является по большей площади белым без каких-либо оттенков, но, тем не менее, по его краям все равно выделяются цветные полосы, имеющие форму дуг.

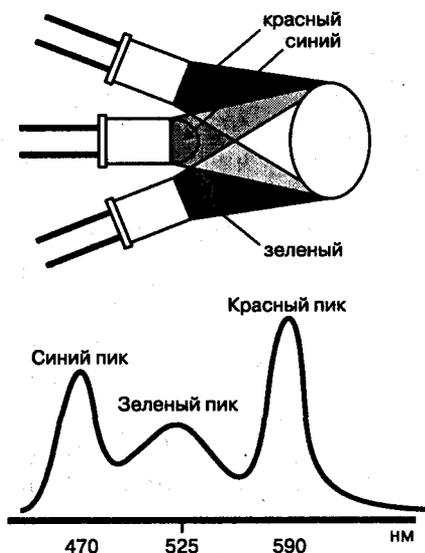


Рис. 4.5. Получение белого света путем смешивания излучения красного, зеленого и синего светодиодов

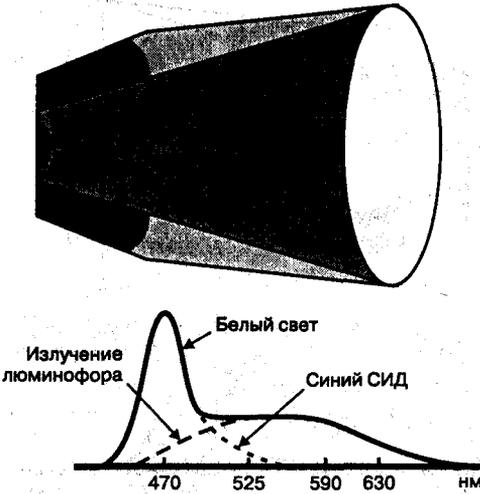


Рис. 4.6. Получение белого света с помощью излучения синего кристалла и желтого люминофора

InGaN/GaN подбирается так, чтобы его спектр излучения соответствовал спектрам возбуждения люминофоров. Кристалл покрывается слоем геля с порошком люминофора таким образом, чтобы часть синего излучения возбуждала люминофор, а часть — проходила без поглощения.

Форма держателя, толщина слоя геля и форма пластикового купола рассчитываются и подбираются так, чтобы спектр имел белый цвет в нужном телесном угле. Сейчас исследуется около десятка различных люминофоров для белых СД. На рис. 4.7 показано строение 5 мм светодиода, излучающего белый свет.

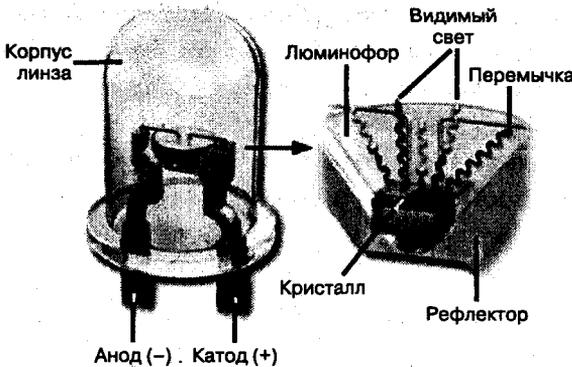


Рис. 4.7. Строение 5 мм светодиода, излучающего белый свет

Обусловлено это тем, что кристаллы, излучающие синий, красный и зеленый свет, естественно, несколько разнесены друг от друга в светодиоде.

Второй способ — смешение синего излучения СД с излучением желто-зеленого люминофора. На рис. 4.6 показано получение белого света с помощью кристалла синего светодиода и нанесенного на него слоя желтого люминофора.

Этот способ наиболее прост и в настоящее время наиболее экономичный. Состав кристалла с гетероструктурами на основе

Третий способ — смешение излучения трех люминофоров (красного, зеленого и синего), возбуждаемых ультрафиолетовым светодиодом. На рис. 4.8 показано получение белого света с помощью ультрафиолетового светодиода и RGB-люминофора.

Этот способ использует принципы и люми-

нофоры, хорошо разработанные в течение многих лет для люминесцентных ламп. Он требует только два контактных ввода на один излучатель. Но этот способ связан с принципиальными потерями энергии при преобразовании света от диода в люминофорах. Кроме того, эффективность источника излучения уменьшается, т. к. разные люминофоры имеют разные спектры возбуждения люминесценции, не точно соответствующие УФ спектру излучения кристалла СД.

Для источников белого цвета важны не только цветовые координаты суммарного спектра разных составляющих излучателя. Многолетние исследования люминесцентных ламп показали, что для цветовых характеристик необходимо учитывать отражение света от поверхностей с различным спектром отражения. Этот учет можно количественно обосновать, эмпирически введя индекс цветопередачи как среднее значение индексов цветопередачи от 8 стандартных цветовых поверхностей.

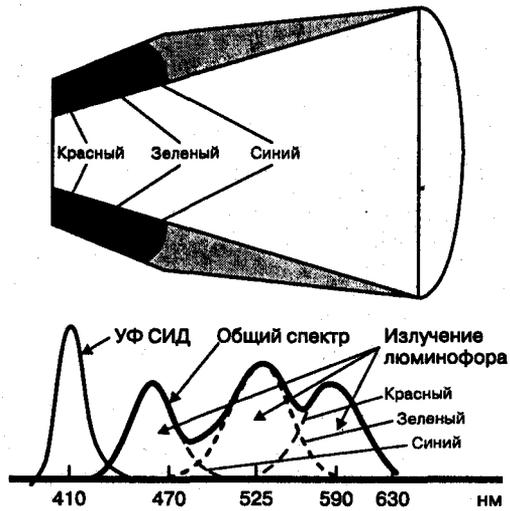


Рис. 4.8. Получение белого света с помощью ультрафиолетового светодиода и RGB-люминофора



Определение.

Индекс цветопередачи, Ra — CRI (Color Rendering Index), характеризует насколько близки к «истинным» будут видны цвета объектов, при рассмотрении их в свете СД.

Под «истинными» понимаются цвета, сформированные с использованием тестового источника. Ra принимает значения от 1 до 100:

- ♦ 1 — наихудшая цветопередача;
- ♦ 100 — наилучшая.



Примечание.

Индекс более 80 является хорошим показателем, более 90 — отличным.

Суммирование излучения СД более трех цветов дает возможность получить белый свет с индексом цветопередачи близким к 100 %.

Индекс цветопередачи для суммы голубого излучения СД с излучением желто-зеленого люминофора ниже, чем для других способов, но он может быть улучшен применением дополнительного оранжево-красного люминофора.

Для массового применения СД в обычном освещении необходимы психофизиологические исследования зрительного восприятия цвета светодиодов. Будущее покажет, в каких применениях целесообразно использовать белые СД каждого из четырех типов.

Принципы построения мощных светодиодов

Конструкции мощных светодиодов основаны на следующих принципах:

- ♦ использованы высокоэффективные излучающие гетероструктуры в системах AlGaInP/GaAs, AlGaInP/GaP и InGaN (активная область гетероструктуры содержит либо одиночную, либо множественные квантовые ямы);
- ♦ излучающие кристаллы имеют увеличенную площадь S более 1 мм^2 (вместо $0,05 \text{ мм}^2$ в стандартных СИД диаметром 5 мм), увеличение площади кристалла направлено на увеличение рабочего тока, т. е. на увеличение светового потока и снижение теплового сопротивления кристалла;
- ♦ для увеличения светового потока в ряде конструкций применяются несколько кристаллов, соединенных как последовательно, так и параллельно-последовательно;
- ♦ в качестве кристаллодержателя для улучшения теплоотвода используются мощные медные или алюминиевые основания (радиаторы);
- ♦ для сбора и преобразования бокового излучения кристаллов применены соответствующие рефлекторы;
- ♦ для эффективного вывода излучения и формирования заданной диаграммы направленности излучения, конструкции светодиодов содержат полимерную линзу, согласованную по размерам с отражателем бокового излучения, а также в некоторых конструкциях вторичную оптику.

На данный момент широкое распространение получили светодиоды типа Luxeon фирмы Lumileds Lighting. На рис. 4.9 показано строение мощного светодиода Luxeon.

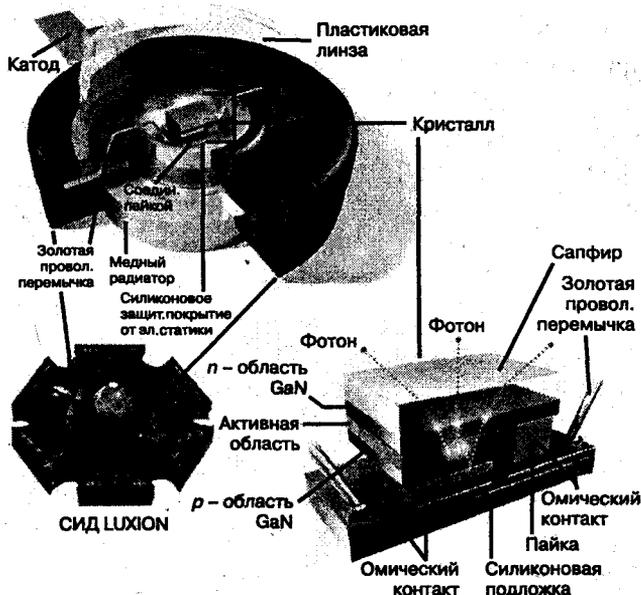


Рис. 4.9. Строение мощного светодиода Luxeon

Подобную конструкцию имеют многие мощные недорогие светодиоды китайских производителей. Конструкция светодиода Luxeon обеспечивает эффективный отвод тепла от кристалла. Значительное количество энергии, подводимой к светодиоду, все еще расходуется на нагрев кристалла. Световая отдача белого светодиода Luxeon при номинальном прямом токе 0,3 А составляет 30—40 лм/Вт. Т. е. это уже больше световой отдачи классических и галогенных ламп накаливания.

Светодиоды Luxeon делятся по электрической мощности на следующие серии:

- ♦ Luxeon — 1 Вт (однокристалльные с прямым рабочим током 350 мА);
- ♦ Luxeon III — 3 Вт (однокристалльные с прямым рабочим током 0,7—1 А);
- ♦ Luxeon V — 5 Вт (четырёхкристалльные с прямым рабочим током 700 мА).

Светодиоды Luxeon делятся по исполнению:

- ♦ Emitter — единственный светодиод (базовый элемент);
- ♦ Star — Emitter на теплоотводящем основании.

На рис. 4.10 показан внешний вид белого светодиода Luxeon Star (кристалл и рефлектор покрыты слоем желтого люминофора), а на рис. 4.11 показан Luxeon Side Emitting на основании Star. Благодаря специальной

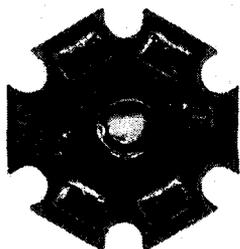


Рис. 4.10. Внешний вид белого светодиода Luxeon Star



Рис. 4.11. Внешний вид Luxeon Side Emitting на основании Star

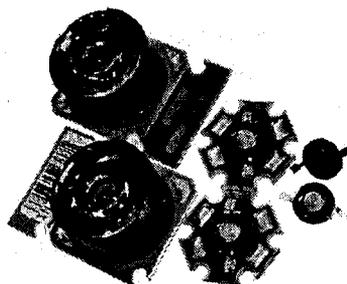


Рис. 4.12. Внешний вид белого светодиода Luxeon Star

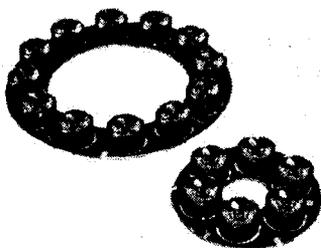


Рис. 4.13. Внешний вид модулей Ring 6, Ring 12

конической линзе (обратная линза) имеет круговую диаграмму излучения.

Star/C — Emitter на квадратном теплоотводящем основании с разъемом

Star/O — Emitter с интегрированной вторичной оптикой

На рис. 4.12 представлены слева направо Luxeon Star/O (с интегрированной вторичной оптикой), Luxeon Star и Luxeon Emitter.

Ring 6, Ring 12 — модуль, состоящий из 6 и 12 светодиодов Star/O, закрепленных на кольцевом основании (рис. 4.13).

Помимо Lumileds Lighting высокоэффективные (мощностью 1 Вт) светодиоды выпускают и другие известные фирмы производители, например, OSRAM Optosemiconductors выпускает серию Golden DRAGON™. В табл. 4.1 приведены технические характеристики светодиодов белого света OSRAM, NICHIA, Edixeon мощностью 1 Вт.

Технические характеристики светодиодов белого света OSRAM, NICHIA, Edixeon

Таблица 4.1

Тип изделия	Световой поток, Лм	Прямой ток номинальный, мА,	Прямое напряжение номинальное, В	Угол излучения, градус	Производитель
Golden DRAGON™ LWW5SG	25	350	3,8	120	OSRAM Optosemiconductors
NICHIA JUPITER™ NCCW022	23	350	3,8	70	NICHIA
NCCW023	23	350	3,8	35	
EDSX-1LA1	35	350	3,7	120	Edison
EDSW-1FA1	50	350	3,7	60	

Следующим этапом развития светодиодов Luxeon стали светодиоды серии Luxeon K2. Варианты их исполнения представлены на рис. 4.14 и рис. 4.15. На следующем рисунке (рис. 4.16) приведено внутреннее строение светодиода Luxeon K2.

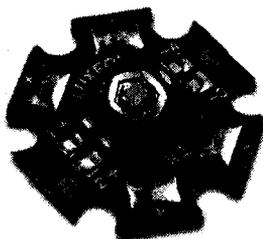


Рис. 4.14. Внешний вид светодиода серии Luxeon K2 на основании STAR

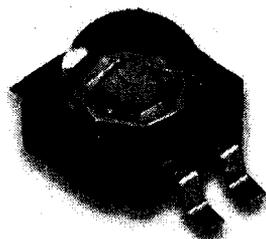


Рис. 4.15. Внешний вид светодиода серии Luxeon K2 (Emitting)



Рис. 4.16. Внутреннее строение светодиода серии Luxeon K2

Световой поток светодиодов серии Luxeon K2, например, у L XK2-PW14-V00 составляет 120 лм при прямом рабочем токе 1 А.

4.4. Сегодняшний день современных высокоэффективных светодиодов

Что мы имеем сегодня?

Реально достигнута световая отдача более 100 лм/Вт. Созданы белые светодиоды с общим индексом цветопередачи Ra более 80. Срок службы серийных светодиодов в среднем достиг 50 тыс. ч, а по сведениям некоторых фирм и 100 тыс. ч. Единичная мощность светодиодов достигла 10 Вт.

Стоимость светодиодов снижается довольно быстро (например, в продаже доступны налобные фонари с 9 белыми 5-мм светодиодами мощностью около 0,04 Вт каждый по цене всего 100 руб. РФ (вместе с батарейками). Т. е. цена одного белого светодиода в этих фонарях не превышает 5 рублей, тогда как всего четыре года назад она составляла около \$ 5).

В мире ежегодно производится несколько миллиардов светодиодов. Бесспорным лидером по объемам производства в этой области стала КНР вместе с другими странами юго-восточной Азии.

Но в производстве качественных высокоэффективных светодиодов и кристаллов для них лидером является американская фирма Cree (www.cree.com), которая первой начала делать светодиоды на подложке не из сапфира или кремния, а из карбида кремния (SiC), имеющего значительно меньшее тепловое сопротивление, используя в светоизлучающих кристаллах нитриды галлия и индия (рис. 4.17, рис. 4.18). Это позволило повысить световую отдачу белых светодиодов до 80—100 лм/Вт.

Надо отметить, что сегодня на базе кристаллов Cree выпускают свои светодиоды такие крупные производители как OSRAM Opto Semiconductor, Seoul Semiconductor,

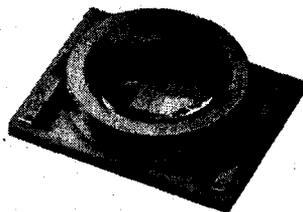


Рис. 4.17. Внешний вид светодиода серии XLamp XR-E LED

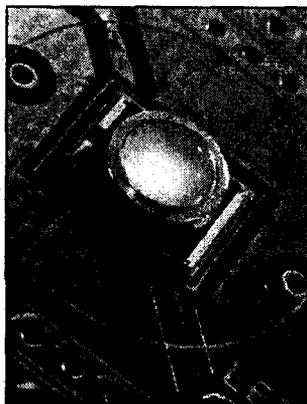


Рис. 4.18. Светодиод серии XLamp XR-E LED установлен на плате

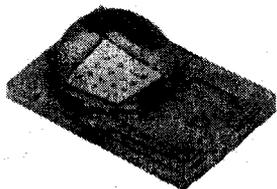


Рис. 4.19. Внешний вид светодиода Luxeon Rebel AllnGaP

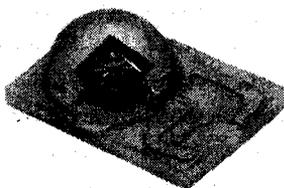


Рис. 4.20. Внешний вид светодиода Luxeon Rebel AllnGaP



Рис. 4.21. Внутреннее строение светодиодов серии Luxeon Rebel (AllnGaP)

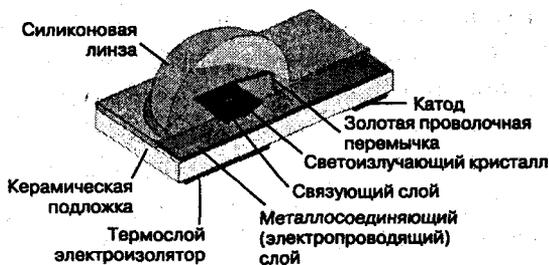


Рис. 4.22. Внутреннее строение светодиодов серии Luxeon Rebel (AlInGaP)

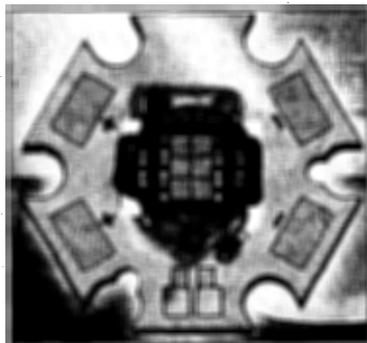


Рис. 4.23. Внешний вид светодиода серии OSTAR

LedEngin, dison Opto Corporation, Avago Technology и многие другие. В свою очередь не отстает от лидера и компания Lumileds (PHILIPS), выпустив недавно новую линейку светодиодов Luxeon® Rebel (рис. 4.19 — рис. 4.22).

Световой поток светодиодов Luxeon® Rebel в частности LXML-PWC1-0100 составляет 100 лм при токе 350 мА и 180 лм при токе 700 мА. Т. е. при токе 350 мА светоотдача составляет приблизительно 100 лм/Вт. Интересные светодиоды для местного и общего освещения выпускает и OSRAM Opto Semiconductor. Световой поток светодиода OSTAR составляет 1000 лм (рис. 4.23).

Проблемы современных светодиодов

Главными проблемами, мешающими массовому внедрению этих перспективнейших источников света, на сегодня являются:

- ♦ **проблема 1** — высокая цена вырабатываемой светодиодами (СД) световой энергии;
- ♦ **проблема 2** — отвод тепла.

Как уже говорилось, цена СД довольно быстро снижается. Но в пересчете на люмен-часы СД пока на порядок уступают традиционным источникам света. Так, стоимость одного клм/ч, выработанного самыми дешевыми китайскими белыми СД со сроком службы 50 тыс. ч и световой отдачей 30 лм/Вт, составляет около 20 коп., а выработанного даже дорогими ЛЛ мощностью 35 Вт с колбой диаметром 16 мм и сроком службы 18 тыс. ч — менее 2 коп.

**Примечание.**

По данным специального приложения к немецкому журналу «Licht-Special», стоимость одного клм/ч, вырабатываемого мощными СД, составляет от 1,33 до 2,78, а вырабатываемого КЛЛ мощностью 10 Вт — 0,07 евро-центов.

Будем надеяться, что эта проблема со временем будет успешно решена. Что касается теплоотвода, то ранее эта проблема не возникала просто потому, что более 90 % всех выпускаемых в мире СД были мощностью 0,01—0,08 Вт. Она появилась с появлением СД мощностью от 1 Вт. Сейчас мощные СД ведущих фирм делаются фланцевой конструкции, аналогично мощным транзисторам, и требуют применения дополнительных внешних радиаторов, выпускаемых в достаточном количестве.

Свет будущего сегодня

В данный момент применение полупроводниковых источников света (далее ИС) в общем освещении пока что не носит массового характера. Из открытых источников информации можно получить лишь примерную картину внедрения СД в освещение за рубежом. Так, около 60 % проектов освещения с СД касаются освещения торговых площадей и ресторанов, 30 % — частных подземных гаражей, 7 % — освещения офисов и лишь; около 3 % (единичные проекты) — уличного освещения.

2007 г. ознаменовался началом серьезных проектов по применению полупроводниковых ИС в уличном освещении. Так, в феврале 2007 г. был анонсирован совместный проект компаний Cree, Lighting Science Group Corporation и правительства штата Северная Каролина под названием «LED City» («Светодиодный город» www.ledcity.org).

Проект предусматривает перевод муниципального освещения столицы штата г. Роли на полупроводниковое, включая уличное освещение, освещение подземных гаражей, пешеходных переходов, парков, архитектурной и акцентной подсветки.

**Примечание.**

Экономические расчеты, проведенные по заказу муниципалитета г. Роли, показали, что экономия электроэнергии после реализации этого масштабного проекта составит около 40 %, а срок окупаемости капитальных затрат составит около 3-х лет.

Проект будет выполнен полностью на белых СД Cree серии XR-E7090 (в светильниках общего освещения) и XR7090 (в светильниках архитектурного и акцентного освещения). Помимо замены традиционных светильников на светильники с СД, будет применена система интеллектуального управления освещением ODL® (Optimized Digital Lighting), позволяющая управлять потреблением электроэнергии в зависимости от изменения внешних условий (уровня освещенности, наличия людей в зоне освещения и т. п.). Уже в течение последующих 18 месяцев планируется полностью переоборудовать систему освещения делового центра с населением более 350 тысяч человек.

В России, Украине и др. стран СНГ попытки внедрения полупроводниковых ИС в общее освещение предпринимаются только отдельными энтузиастами и не имеют пока ни одной масштабной реализации. По мнению многих специалистов, это связано с незаинтересованностью потенциальных потребителей (городских властей, застройщиков, эксплуатирующих организаций). Эта незаинтересованность, помимо традиционных причин, связанных с лоббированием интересов производителей светотехнического оборудования, связана с неясностью предложений для конечного потребителя.

При этом отсутствуют реальные экономические расчеты, способные показать комплексный экономический эффект и сроки окупаемости. Приведенный выше пример показывает, что когда есть четкое обоснование предложения и инициатива исходит непосредственно от заказчика, находятся компании, готовые реализовать даже самый амбициозный проект.

В последнее время некоторые российские производители традиционного осветительного оборудования для общего освещения начали осознавать, что СД для них не конкуренты, а возможность выведения своей продукции на новый технологический уровень и, тем самым, получения значительного конкурентного преимущества на рынке. Это вселяет надежду в то, что ситуация вскоре начнет меняться и мы не слишком отстанем в применении СД от передовых зарубежных стран.

4.5. Питание светодиодов

Требования к питанию светодиодов

Для того чтобы светодиодное освещение вошло в перечень традиционных источников света помимо увеличения световой отдачи и уменьшения стоимости самих светодиодов необходимо решить еще одну проблему. Это проблема **специализированного электрического питания** светодиодов и светодиодных модулей. Вести разговоры о том, что светодиоды будут работать 100 000 часов или хотя бы 10 000 часов без качественного электрического питания, нереально.

Во-первых, блок электропитания должен сохранять работоспособность в течение назначенного временного ресурса порядка 50 000 часов и более, обеспечивая при этом требуемые характеристики.

Во-вторых, питание должно быть стабилизированным по току (идеальный вариант — величина тока должна стабилизироваться по температурной зависимости светоизлучающего кристалла), иметь защиту от импульсов перенапряжения и обратной полярности.

В-третьих, цена всего вышеуказанного не должна существенно превышать стоимость светодиодного модуля.

Особенности питания белых светодиодов

Рассмотрим более подробно особенности питания белых светодиодов. Как известно, светодиод имеет нелинейную вольт-амперную характеристику с характерной «пяткой» на начальном участке (рис. 4.24).

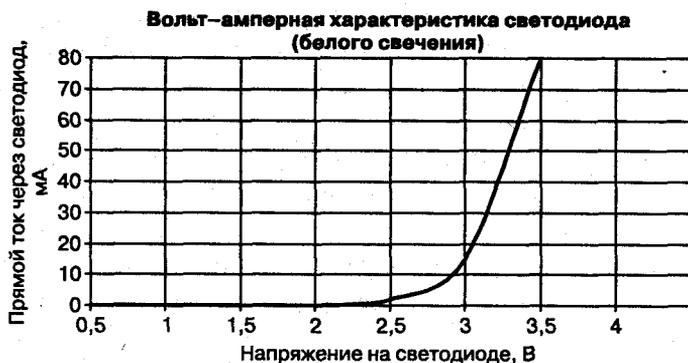


Рис. 4.24. Вольт-амперная характеристика светодиода белого свечения

Как мы видим, светодиод начинает светиться, если на него подано напряжение больше 2,7 В.



Внимание.

При превышении порогового напряжения (выше 3 В) ток через светодиод начинает быстро расти и здесь требуется ограничить ток, стабилизировать его на определенном уровне.

Простейшим ограничителем тока через светодиод является резистор. Существует несколько вариантов схемотехнического включения светодиодов. Они делятся на схемы с параллельным, последовательным и смешанным включением. При последовательном включении светодиодов (как показано рис. 4.25) протекающий через светодиоды ток I будет равен

$$I = \frac{U_{\text{пит}} - (U_{vd1} + U_{vd4} + U_{vd3})}{R}$$

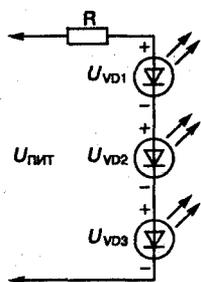


Рис. 4.25. Схема последовательного включения светодиодов

Последовательное включение преследует цель либо повысить мощность излучения, либо увеличить излучаемую поверхность.

Недостатками последовательного включения является:

- ♦ во-первых, с увеличением числа светодиодов увеличивается и напряжение питания, потому что для прохождения тока через последовательно включенные светодиоды необходимо соблюдение условия $U_{\text{пит}} > U_{vd1} + U_{vd4} + U_{vd3}$;
- ♦ во-вторых, увеличение числа светодиодов понижает надежность системы, при выходе из строя

одного из светодиодов перестают работать все последовательно включенные светодиоды.

При параллельном включении светодиодов через каждый излучатель протекает отдельный ток, задаваемый отдельным токозадающим резистором.

На рис. 4.26 показана схема параллельного включения излучающих диодов. Суммарный ток, потребляемый из источника питания, в этом случае равен

$$I = \frac{U_{\text{пит}} - U_{vd1}}{R1} + \frac{U_{\text{пит}} - U_{vd2}}{R1} + \frac{U_{\text{пит}} - U_{vd2}}{R1}$$

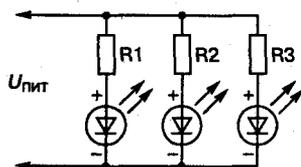


Рис. 4.26. Схема параллельного включения светодиодов

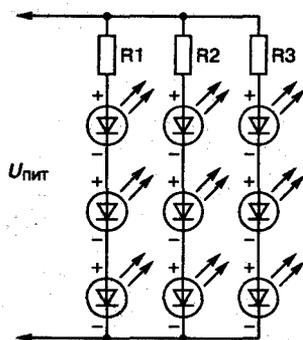


Рис. 4.27. Схема последовательно-параллельного включения светодиодов

Преимуществом параллельного включения является высокая надежность, так как при выходе из строя одного из излучателей остальные продолжают работать. Недостатки:

- ♦ каждый светодиод потребляет отдельный ток и повышается энергопотребление;
- ♦ увеличиваются потери на токозадающих резисторах.

Наиболее эффективным является смешанное (комбинированное) последовательно-параллельное включение, показанное на рис. 4.27. В этом случае число последовательно включенных излучателей ограничено напряжением питания, а число параллельных ветвей выбирается в зависимости от требуемой мощности.

Если считать, что каждая ветвь потребляет один и тот же ток и, следовательно, все элементы схемы идентичны, то суммарный ток, потребляемый из источника питания при смешанном соединении

$$I = \frac{U_{пит} - nU_{vd}}{R},$$

где n — число последовательно включенных светодиодов в одной ветви;
 N — число параллельных ветвей.

Смешанное соединение включает в себя положительные свойства вариантов параллельного и последовательного включения.

В связи с тем, что зрительный аппарат человека является инерционным, довольно часто при питании светодиодов используют импульсный ток. Величина среднего импульсного тока, протекающего через светодиод, определяется из выражения

$$I_s = I_{max} \frac{td}{td + tb}.$$

На рис. 4.28 показаны временные диаграммы импульсного тока. Если заданы длительность импульса и длительность паузы, то можно определить значение максимально допустимого значения импульсного тока:

$$I_{max} = I_{ном} \frac{td}{td + tb},$$

где $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток светодиода.

Как уже упоминалось, резистор является элементом, ограничивающий ток, протекающий через светодиод. Но резистор удобно применять, если питающее напряжение постоянно. На практике часто случается, что напряжение не стабильно, например, напряжение аккумуляторной батареи уменьшается при ее разряде довольно в широких пределах. В этом случае широко применяют линейные стабилизаторы тока.

Простейший линейный стабилизатор тока можно собрать на широко распространенных микросхемах типа КР142ЕН12(А), LM317 (и их многочисленных аналогах), как показано на рис. 4.29.

Резистор R выбирается в пределах 0,25—125 Ом, при этом ток через светодиод определяется выражением

$$I_{vd} = 1,25/R.$$

Схема построения таких стабилизаторов тока отличается простотой (микросхема и один резистор), компактностью и надежностью. Надежность дополнительно обусловлена развитой системой защиты от перегрузок и перегрева, встроенной в микросхему стабилизатора.

Для стабилизации токов от 350 мА и выше можно использовать и более мощные микросхемы линейных регуляторов с малым падением напряжения серий 1083, 1084, 1085 различных производителей либо отечественные аналоги КР142 ЕН 22А / 24А / 26А.

Но у линейных стабилизаторов тока есть существенные недостатки:

- ♦ низкий КПД;
- ♦ большие потери сильный нагрев при регулировки больших токов.

Поэтому в данный момент все чаще применяются импульсные преобразователи и стабилизаторы для питания светодиодов и светодиодных

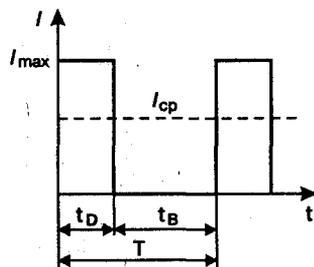


Рис. 4.28. Временные диаграммы импульсного тока

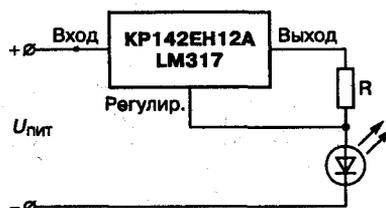


Рис. 4.29. Схема простейшего линейного стабилизатора тока

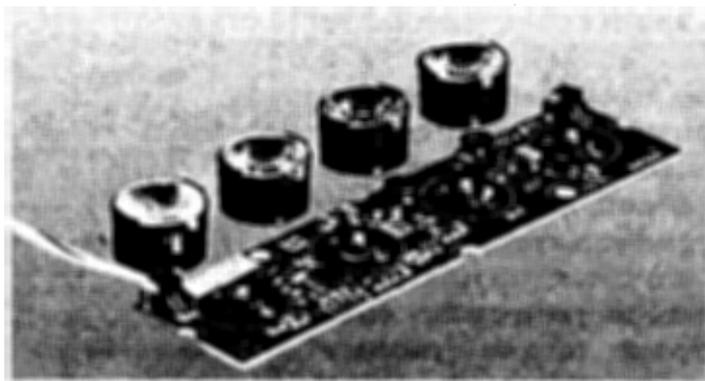


Рис. 4.30. Внешний вид светодиодного модуля и вторичной оптики

модулей. На рис. 4.30 представлены внешний вид светодиодного модуля и вторичной оптики. Следует отметить, что светодиоды и преобразователь питания конструктивно выполнены на единой плате.

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ СО СВЕТОДИОДАМИ

5.1. Фонари и фары на светодиодах

Постановка задачи

Целесообразность использования светодиодов в фонарях, велофарах, в устройствах местного и дежурного освещении на сегодняшний день не вызывает сомнений. Светоотдача и мощность светодиодов растет, а цены на них падают. Источников света, в которых вместо привычной лампы накаливания используются светодиоды белого свечения, становится все больше и купить их не составляет труда.

Магазины и рынки заполнены светодиодной продукцией китайского производства. Но качество этой продукции оставляет желать лучшего. Поэтому возникает необходимость в модернизации доступных (в первую очередь по цене) светодиодных источников света. Да и заменить лампы накаливания на светодиоды в добротных фонарях советского производства тоже имеет смысл. Надеюсь, что приведенная далее информация будет не лишней.



Примечание.

Поскольку любой светодиод является, по сути, токовым прибором, с точки зрения энергоэффективности выгодно обеспечивать прямое управление током, протекающим через него. Это позволяет исключить потери, возникающие на балластном (токоограничительном) резисторе или линейном стабилизаторе.

Одним из оптимальных вариантов питания различных светодиодов от автономных источников является использование специализированной микросхем фирмы ZETEX. Универсальные драйверы питания светодиодов ZXSC300, ZXSC310, ZXSC400 могут работать в качестве в двух вариантах:

- ♦ повышающего преобразователя Step-Up (boost);
- ♦ понижающего преобразователя Step-Down (Buck).

Они обеспечивают питание стабилизированным током как стандартные 5 мм светодиоды 20 мА, так и мощные 1 Вт, 3 Вт, 5 Вт типа LUXEON K2, OSTAR, XLamp, EDIXEON.

Питание светодиодов с помощью ZXSC300

Микросхема ZXSC300 — это импульсный (индуктивный) повышающий преобразователь DC-DC с частотно-импульсной модуляцией.

Особенности микросхемы рассмотрены ниже.

- ♦ Контроллер PFM (Pulse Frequency Modulation).
- ♦ КПД — 94 %.
- ♦ Входное рабочего напряжения — 0,8—9 В.
- ♦ Стабилизированный выходной ток.
- ♦ Рассеиваемая мощность — 450 мВт.
- ♦ Диапазон рабочих температур от -40 до +85 °С.
- ♦ Рабочая частота (оптимальная) — 200 кГц.
- ♦ Корпус SOT23-5.

Принцип работы микросхемы ZXSC300

Рассмотрим принцип работы ZXSC300. На рис. 5.1 показана одна из типовых схем питания белого светодиода импульсным током с помощью ZXSC300. Импульсный режим питания светодиода позволяет максимально эффективно использовать энергию, имеющуюся в батарее или аккумуляторе.

Кроме самой микросхемы ZXSC300 преобразователь содержит:

- ♦ элемент питания 1,5 В;
- ♦ накопительный дроссель L1;
- ♦ силовой ключ — транзистор VT1;
- ♦ датчик тока — R1.

Работает преобразователь традиционным для него образом. В течение некоторого времени за счет импульса, поступающего с генератора G (через драйвер), транзистор VT1 открыт, и ток через дроссель L1 нарастает.

тает по линейному закону. Процесс длится до момента, когда на датчике тока — низкоомном резисторе R1 — падение напряжение достигнет величины 19 мВ. Этого напряжения достаточно для переключения компаратора (на второй вход которого подано небольшое образцовое напряжение с делителя).

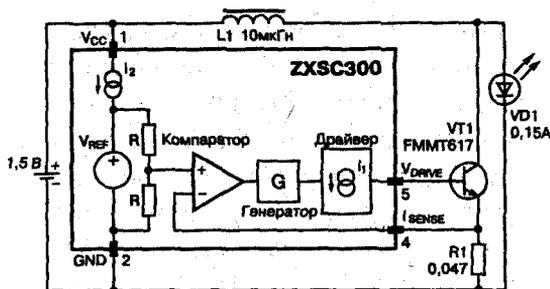


Рис. 5.1. Типовая схема питания белого светодиода импульсным током с помощью ZXSC300

Выходное напряжение с компаратора поступает на генератор. В результате этого силовой ключ VT1 закрывается, а энергия, накопленная в дросселе L1, поступает в светодиод VD1. Далее процесс повторяется. Таким образом, из первичного источника питания в светодиод поступает фиксированные порции энергии, которые он преобразует в световую. Управление энергией происходит с помощью частотно-импульсной модуляции ЧИМ (PFM Pulse Frequency Modulation).



Примечание.

Принцип ЧИМ заключается в том, что изменяется частота, а постоянным остается длительность импульса или паузы, соответственно, открытого (On-Time) и закрытого (Off-Time) состояния ключа.

В нашем случае неизменным остается время Off-Time, т. е. длительность импульса, при котором внешний транзистор VT1 находится в закрытом состоянии. Для контроллера ZXSC300 T_{off} составляет 1,7 мкс.

Это время достаточно для передачи накопленной энергии из дросселя в светодиод. Длительность импульса T_{on} , в течение которого открыт VT1, определяется:

- ♦ величиной токоизмерительного резистора R1;
- ♦ входным напряжением;
- ♦ разницей между входным и выходным напряжением.

Энергия, которая накапливается в дросселе L1, будет зависеть от его величины. Оптимальным считается, когда полный период T равен 5 мкс ($T_{off} + T_{on}$). Соответственно, рабочая частота $F = 1/5 \text{ мкс} = 200 \text{ кГц}$.

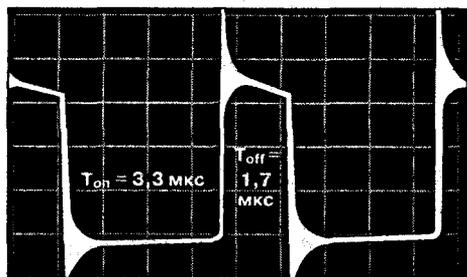


Рис. 5.2. Вид импульсов напряжения на светодиоде (сетка 1 В/дел, 1 мкс/дел)

При указанных на схеме (см. рис. 5.1) номиналах элементов оциллограмма импульсов напряжения на светодиоде имеет вид, представленный на рис. 5.2.

Используемые детали

Транзистор VT1 — FMMT617, п-р-п транзистор с гарантированным напряжением насыщения коллектор-эмиттер не более 100 мВ при токе коллектора 1 А. Способен выдерживать импульсный ток коллектора до 12 А (постоянный 3 А), напряжение коллектор-эмиттер 18 В, коэффициент передачи тока 150—240. Динамические характеристики транзистора: время включения/выключения 120/160 нс, $f = 120$ МГц, выходная емкость 30 пФ.

FMMT617 можно заменить на более новый транзистор ZXTN25012EFH. Он позволяет получить высокий КПД преобразования при входном напряжении меньше одного вольта.

Накопительный дроссель L1. В качестве накопительного дросселя можно использовать как промышленные SMD Power Inductor, так и самодельные. Дроссель L1 должен выдерживать максимальный ток силового ключа VT1 без насыщения магнитопровода. Активное сопротивление обмотки дросселя не должно превышать 0,1 Ом, иначе КПД преобразователя заметно снизится.



Совет.

В качестве сердечника для самостоятельной намотки хорошо подходят кольцевые магнитопроводы (K10×4×5) от дросселей фильтров питания использующиеся в старых компьютерных материнских платах.

На сегодняшний день б/у компьютерное «железо» можно приобрести по бросовым ценам на любом радиорынке. А «железо» — это неисчерпаемый источник разнообразных деталей для радиолюбителей. При самостоятельной намотке для контроля понадобится измеритель индуктивности.

Токоизмерительный резистор R1. Низкоомный резистор R1 47 мОм получен параллельным соединением двух SMD резисторов типоразмера 1206 по 0,1 Ом.

Светодиод VD1. Светодиод VD1 белого свечения с номинальным рабочим током 150 мА. В авторской конструкции используется два четырехкристальных светодиода, соединенные параллельно. Номинальный ток одного из них составляет 100 мА, другого — 60 мА. Рабочий ток светодиода определен путем пропускания через него стабилизированного постоянного тока и контроля температуры катодного (минусового) вывода, который является радиатором и отводит тепло от кристалла.

При номинальном рабочем токе температура теплоотводящего вывода не должна превышать 40 — 45 градусов. Вместо одного светодиода VD1 также можно использовать восемь параллельно соединенных стандартный 5 мм светодиодов с током 20 мА.

Внешний вид устройства показан на рис. 5.3 и рис. 5.4. Печатная плата показана на рис. 5.5.



Совет.

При разработке плат для подобных устройств необходимо стремиться к минимальным значениям емкости и индуктивности проводника, соединяющий К VT1 с накопительным дросселем и светодиодом, а также к минимальным индуктивности и активному сопротивлению входных и выходных цепей и общего провода. Сопротивление контактов и проводов, через которые поступает напряжение питания, должно быть тоже минимально.



Рис. 5.3. Внешний вид устройства (вариант 1)



Рис. 5.4. Внешний вид устройства (вариант 2)

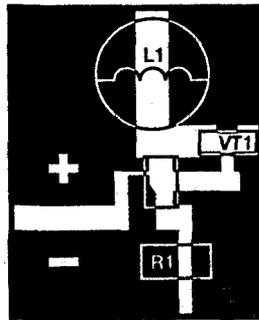


Рис. 5.5. Печатная плата (размер 14 × 17 мм)

Вариант питания мощных светодиодов типа Luxeon с номинальным рабочим током 350 мА

На рис. 5.6, рис. 5.7 (схемы) и рис. 5.8 (внешний вид преобразователя в сборе) показан вариант питания мощных светодиодов типа Luxeon с номинальным рабочим током 350 мА.

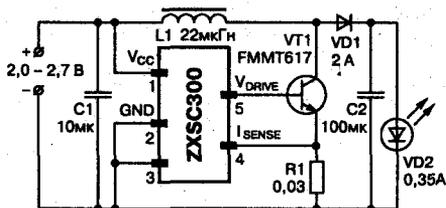


Рис. 5.6. Схема питания от одного источника тока напряжением 1,5–1,2 В (вариант)

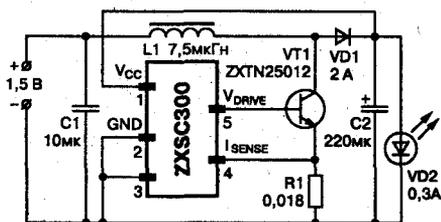


Рис. 5.7. Схема питания от одного источника тока напряжением 1,5–1,2 В, ZXSC300 запитана от выходного напряжения

В отличие от рассмотренной ранее схемы (рис. 5.1) здесь питание светодиода происходит не импульсным, а постоянным током. Это позволяет легко контролировать рабочий ток светодиода и КПД всего устройства.

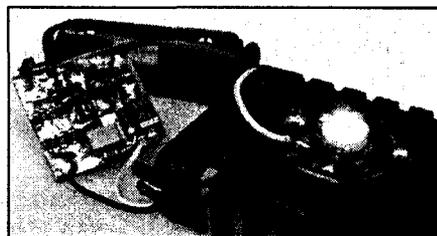


Рис. 5.8. Внешний вид преобразователя питающего светодиод Edison EDEX 1LA1 (3,6 В; 0,35 А) от одного аккумулятора



Примечание.

Особенность преобразователя на рис. 5.7 заключается в том, что ZXSC300 запитана от выходного напряжения.

Это позволяет ZXSC300 работать (после запуска) при снижении входного напряжения вплоть до 0,6 В. Диод VD1 — Шоттки, рассчитанный на ток 2 А. Конденсаторы C1 — керамические SMD,

C2 — танталовые SMD. Печатные платы показаны на рис. 5.9 и рис. 5.10, соответственно, для схем рис. 5.6 и рис. 5.7. Размер обеих печатных плат составляет 25 × 25 мм.

На рис. 5.11 показана схема питания 5-6 светодиодов, включенных последовательно с рабочим током 20 мА. В табл. 5.1 приведены рекомендации по выбору элементов схемы.

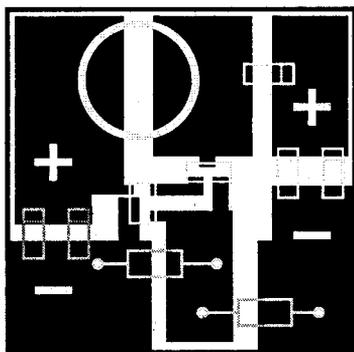


Рис. 5.9. Печатная плата для схемы, изображенной на рис. 5.6

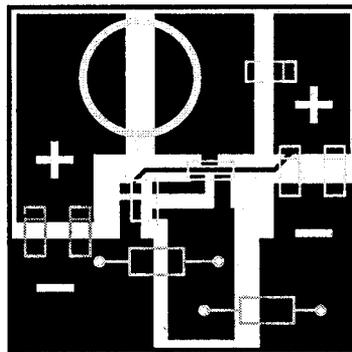


Рис. 5.10. Печатная плата для схемы, изображенной на рис. 5.7

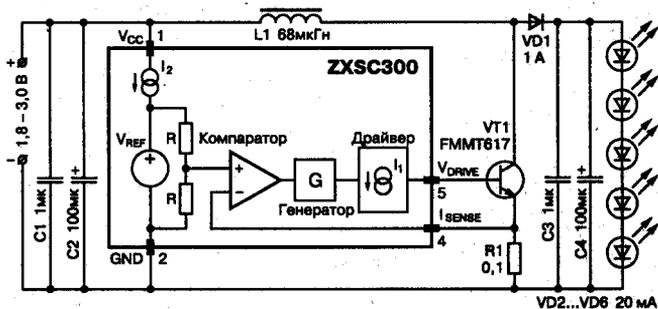


Рис. 5.11. Схема питания 5-6 светодиодов включенных последовательно с рабочим током 20 мА

Рекомендации по выбору элементов схемы

Таблица 5.1

Входное напряжение питания, В	Рабочий ток светодиодов, мА	Количество светодиодов, последовательно соединенных	Сопротивление токоизмерительного резистора, мОм	Индуктивность накопительного дросселя, мкГн
1,5	20	1	270	68
1,5	30	1	180	68
1,5	50	1	100	68
1,5	20	2	150	100
1,5	30	2	100	100
1,5	50	2	39	100
3,5	20	3	220	68
3,5	20	4	150	68
3,5	20	6	77	68
3,5	30	6	47	68
5	20	4	270	68
5	30	6	100	68

Вариант питания мощных светодиодов типа Luxeon с номинальным рабочим током 350 мА

На рис. 5.6, рис. 5.7 (схемы) и рис. 5.8 (внешний вид преобразователя в сборе) показан вариант питания мощных светодиодов типа Luxeon с номинальным рабочим током 350 мА.

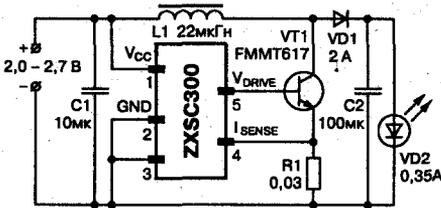


Рис. 5.6. Схема питания от одного источника тока напряжением 1,5–1,2 В (вариант)

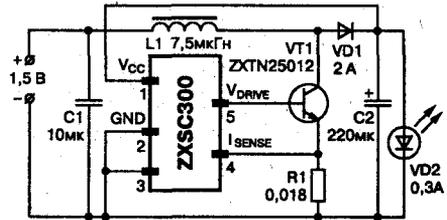


Рис. 5.7. Схема питания от одного источника тока напряжением 1,5–1,2 В, ZXSC300 запитана от выходного напряжения

В отличие от рассмотренной ранее схемы (рис. 5.1) здесь питание светодиода происходит не импульсным, а постоянным током. Это позволяет легко контролировать рабочий ток светодиода и КПД всего устройства.

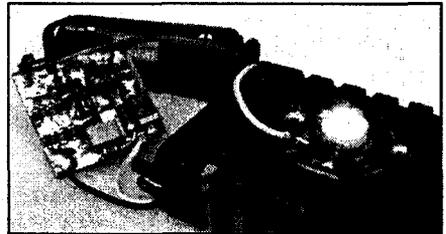


Рис. 5.8. Внешний вид преобразователя питающего светодиод Edison EDEX 1LA1 (3,6 В; 0,35 А) от одного аккумулятора



Примечание.

Особенность преобразователя на рис. 5.7 заключается в том, что ZXSC300 запитана от выходного напряжения.

Это позволяет ZXSC300 работать (после запуска) при снижении входного напряжения вплоть до 0,6 В. Диод VD1 — Шоттки, рассчитанный на ток 2 А. Конденсаторы C1 — керамические SMD,

C2 — танталовые SMD. Печатные платы показаны на рис. 5.9 и рис. 5.10, соответственно, для схем рис. 5.6 и рис. 5.7. Размер обеих печатных плат составляет 25 × 25 мм.

На рис. 5.11 показана схема питания 5-6 светодиодов, включенных последовательно с рабочим током 20 мА. В табл. 5.1 приведены рекомендации по выбору элементов схемы.

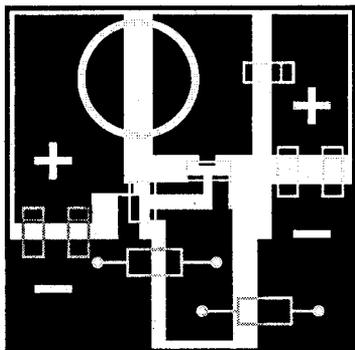


Рис. 5.9. Печатная плата для схемы, изображенной на рис. 5.6

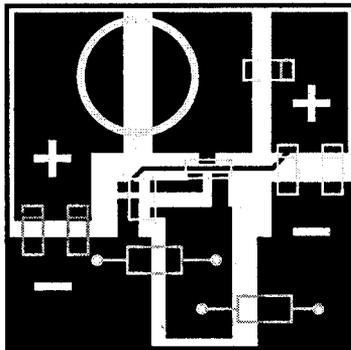


Рис. 5.10. Печатная плата для схемы, изображенной на рис. 5.7

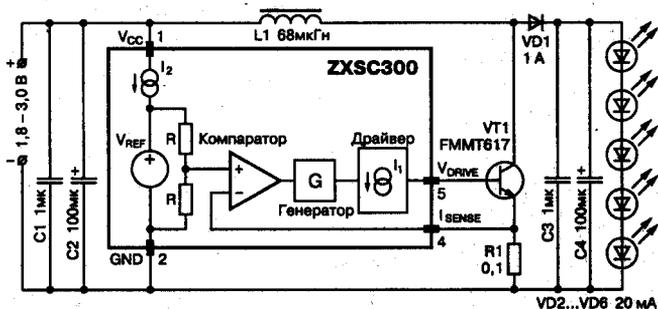


Рис. 5.11. Схема питания 5-6 светодиодов включенных последовательно с рабочим током 20 мА

Рекомендации по выбору элементов схемы

Таблица 5.1

Входное напряжение питания, В	Рабочий ток светодиодов, мА	Количество светодиодов, последовательно соединенных	Сопротивление токоизмерительного резистора, мОм	Индуктивность накопительного дросселя, мкГн
1,5	20	1	270	68
1,5	30	1	180	68
1,5	50	1	100	68
1,5	20	2	150	100
1,5	30	2	100	100
1,5	50	2	39	100
3,5	20	3	220	68
3,5	20	4	150	68
3,5	20	6	77	68
3,5	30	6	47	68
5	20	4	270	68
5	30	6	100	68

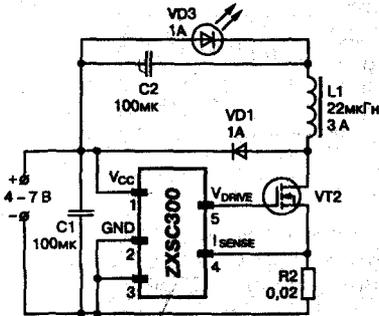


Рис. 5.12. Схема понижающего преобразователя

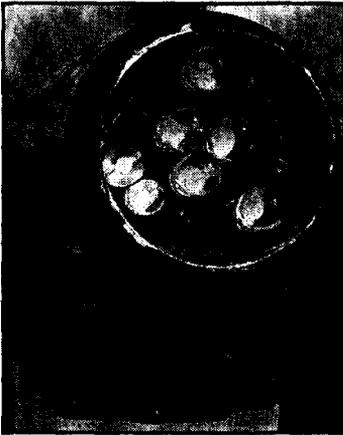


Рис. 5.13. Внешний вид модернизированного фонаря ФАР-3



Рис. 5.14. Внешний вид преобразователей и платы со светодиодами

На сегодняшний день стали доступны в использовании мощные 3—5 Вт светодиоды различных производителей (как именитых производителей, так и неизвестных). В этом случае применение ZXSC300 позволяет легко решить задачу эффективного питания светодиодов с рабочим током 1 А и более.



Примечание.

Особенность приведенной ниже схемы (рис. 5.12) состоит в том, что в данном случае преобразователь понижающий, т. е. входное напряжение выше, чем падение на светодиоде.

В качестве силового ключа в данной схеме удобно использовать низкопороговый (работающий от 2 В) п-канальный Power MOSFET, например, IRLR024N, IRLU024N, IRF7811A, IRF7809A, IRF7807 и др. С помощью ZXSC300 и нескольких светодиодов можно легко вдохнуть вторую жизнь в старый фонарь. Модернизации был подвергнут аккумуляторный фонарь ФАР-3.

Светодиоды использовались 4-х кристалльные с номинальным током 100 мА — 6 шт. типа RL83-WH744D-P4-15. Они соединены последовательно по 3. Для управления световым потоком применены два преобразователя на ZXSC300, имеющих независимое ВКЛ./ВЫКЛ. Каждый преобразователь работает на свою тройку светодиодов (рис. 5.14). Принципиальная схема преобразователей для питания трех светодиодов с номинальным током 100 мА приведена на рис. 5.15. Платы преобразо-

вателей выполнены на двухстороннем стеклотекстолите, вторая сторона соединена с минусом питания.

В фонаре ФАР-3 в качестве элементов питания используются три герметичных аккумулятора НКГК-11Д (KCSL 11). Номинальное напряжение этой батареи 3,6 В. Конечное напряжение разряженной батареи составляет 3 В (1 В на элемент).

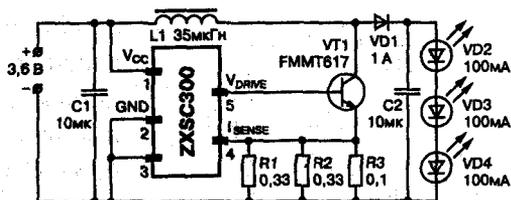


Рис. 5.15. Принципиальная схема преобразователей для питания трех светодиодов с номинальным током 100 мА



Внимание.

Дальнейший разряд нежелателен, т. к. это приводит к сокращению срока службы батареи. А дальнейший разряд возможен — преобразователи на ZXSC300 работают, как мы помним, вплоть до 0,9 В.

Поэтому для контроля напряжения на батарее было спроектировано устройство, схема которого показана на рис. 5.16.

В данном устройстве используется недорогая доступная элементная база. DA1 LM393 — всем известный двоянный компаратор. опорное напряжения 2 В снимаем с желтого светодиода HL1. Напряжение срабатывания компаратора DA1.1 (около 3 В) задается делителем R2, R3. Для точного срабатывания возможно потребуется подбор этих элементов.

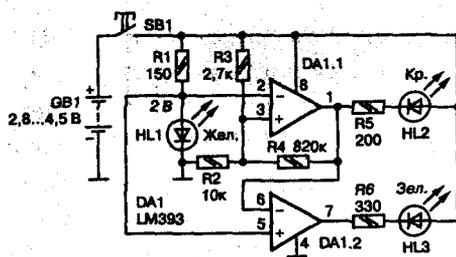


Рис. 5.16. Принципиальная схема устройства контроля напряжения на батарее 3 НКГК-11Д

Когда напряжение на батарее GB1 снижается до 3 В загорается красный светодиод HL2, если напряжение больше 3 В, то HL2 гаснет и загорается зеленый светодиод HL3. Резистор R4 определяет гистерезис компаратора.

Печатная плата устройства контроля показана на рис. 5.17. Размер печатной платы составляет 34 × 20 мм.

Количество деталей в устройстве контроля можно значительно уменьшить, если воспользоваться схемой, представленной на рис. 5.18.

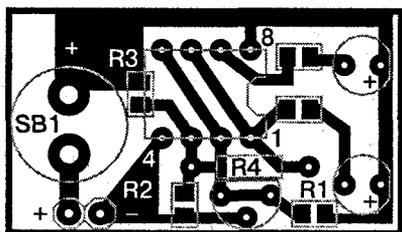


Рис. 5.17. Печатная плата устройства контроля

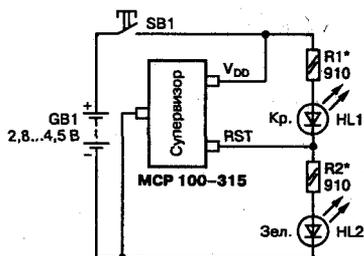


Рис. 5.18. Схема контроля напряжения с использованием супервизоров питания MCP 100-315

Применение супервизоров питания серии MCP 100/101 (от Microchip) позволяет отслеживать требуемый порог разряда батареи. При подборе резисторов R1, R2 следует учесть, что максимальный ток на при низком уровне на выводе RST составляет 8,5 мА, а при высоком — всего 3 мА. Все необходимые детали для сборки преобразователей можно приобрести на сайте www.pitaemled.biz.

Светодиодный модуль для фонаря и фары с микроконтроллерным управлением

Сегодня не составляет большого труда приобрести «белые» светодиоды, имеющие светоотдачу 70—100 лм/Вт (рис. 5.19). Такую возможность предоставляют: XLamp от Cree, LUXEON K2 от Philips Lumileds, OSTAR от Osram, EDIXEON от Edison. Рабочий ток у них составляет 0,3—1,5 А, а у новых светодиодов Z-Power Led P7 — 2,5 А.

Эффективность современных светодиодов уже в несколько раз превышает эффективность ламп накаливания и вплотную подошла к эффективности люминесцентных ламп. Поэтому сейчас светодиоды широко применяются там, где нужны компактные, высокоэффективные, надежные источники света: во всевозможных фонарях (подводные, туристиче-

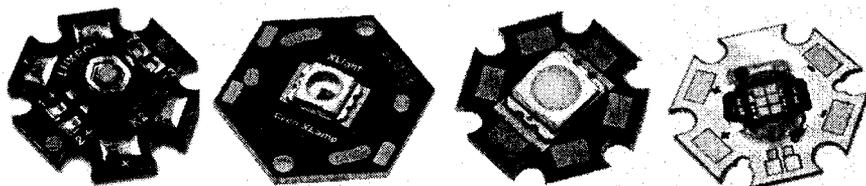


Рис. 5.19. Внешний вид сверхмощных светодиодов

ские, шахтные), вело- мото- и автофарах, аварийном и дежурном освещении.



Примечание.

Питать светодиоды необходимо стабильным током. А при питании от батареек или аккумуляторов ток этот должен быть стабильным на протяжении всего жизненного цикла батарейки или аккумулятора.

Другими словами: аккумулятор разряжается, напряжение на нем падает, а ток через светодиод должен оставаться постоянным (номинальный), при этом яркость светодиода не уменьшается, световой поток не падает. И тут возникает вопрос, с помощью чего это можно добиться. Ответ прост — с помощью преобразователей ZXSC300 и ZXSC400 от фирмы ZETEX. ZXSC300 мы уже рассматривали («Питание светодиодов с помощью ZXSC300») Обратим свое внимание на более продвинутую микросхему ZXSC400. Далее, чтобы не повторяться, будем рассматривать только отличия между ZXSC400 и ZXSC300.

Отличие 1. Напряжение питания ZXSC400 составляет 1,8—8 В. Т. е. необходимо не менее 2 шт. элементов питания (аккумулятор 1,2 В) для нормальной работы.

Отличие 2. Внутри у ZXSC400 добавлен второй компаратор. Это дало возможность непосредственно контролировать и регулировать ток, протекающий через светодиоды. И тем самым значительно повысить стабильность его во всем диапазоне питающих напряжений. Напряжение для дополнительного компаратора снимается с датчика тока и поступает через вывод V_{FB} .

Отличие 3. Появился вывод STDT. Если этот вывод подключить к минусу питания (посадить на землю), то ZXSC400 переходит в «спящий» режим, энергопотребление при этом составляет 4,5 мкА. Т. е. теперь стало возможно управлять преобразователем (ВКЛ./ВЫКЛ.) с помощью слаботочной малогабаритной кнопки (тумблера). Но это не все. Если подать на этот вывод импульсы (амплитуда их не должна превышать напряжение питания) с частотой не менее 120 Гц, то путем изменения скважности импульсов (ШИМ) можно управлять яркостью светодиодов.

Практические схемы применения микросхемы ZXSC400

Обратим свое внимание на практические схемы применения ZXSC400. На рис. 5.20 показана схема питания мощного светодиода с помощью ZXSC400 в режиме повышающего преобразователя.

Входное напряжение 2,0—3,0 В (два элемента питания 1,2—1,5 В). Внутри у ZXSC400 имеется два компаратора. Один компаратор контролирует ток, протекающий через

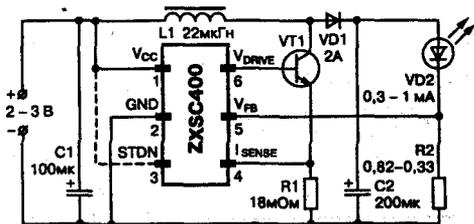


Рис. 5.20. Схема питания мощного светодиода с помощью ZXSC400 в режиме повышающего преобразователя

силовой ключ — транзистор VT1. Напряжение снимется с низкоомного резистора R1 и поступает на вывод SENSE. Пороговое напряжение составляет 30 мВ. Именно этот компаратор (на первом этапе) контролирует энергию, которая накапливается и передается на светодиод.

Второй компаратор непосредственно контролирует и регулирует ток, протекающий через светодиод. Напряжение снимется с резистора R2 и поступает на вывод V_{FB} . Пороговое напряжение составляет 300 мВ.

Ток через светодиод определяется сопротивлением резистора R2. Чем меньше сопротивление, тем больше ток через светодиод. Рассчитывается с помощью простой формулы

$$I_{VD} = V_{FB} / R2 = 0,3В / R2.$$

Используемые детали

Светодиод VD2 — это мощный светодиод с параметрами:

- ♦ падение напряжение 3,3—3,8 В;
- ♦ номинальный ток 0,3—0,7 А.

В авторской варианте использован EDSX-KLC8-A3 фирмы Edison, подойдет CREE Q5 или любой другой со светоотдачей 100 лм/Вт. Светодиод используется совместно с вторичной оптикой (коллиматором).



Внимание.

Мощный светодиод необходимо устанавливать на дополнительный радиатор, который должен не допустить нагрев кристалла выше 50 градусов.

Транзистор VT1. В качестве VT1 подходят n-p-n транзисторы:

- ♦ FMMT617 — при токах до 350 мА;
- ♦ ZXTN25012EFH, ZXTN19020CFF, FZT1049A — при токах более 350 мА.

Для достижения высокого КПД преобразователя к транзисторам предъявляются требования:

- ♦ малое напряжение насыщения;
- ♦ большой коэффициент усиления;
- ♦ низкое сопротивление к-э в режиме насыщения.

Некоторые параметры этих транзисторов приведены в табл. 5.2.

Параметры транзисторов, применимых в схеме

Таблица 5.2

Транзистор	P _в , Вт	Коэффициент усиления, hFE			Напряжением насыщения коллектор-эмиттер, VCE(sat)			Сопротивление к-э, RCE(sat), МОм	Корпус
		Min	Max	при I _c , А	Max, мВ	при I _c , А	при I _e , мА		
FZT1049A	2,5	300	1200	1	60	0,5	10	30	SOT223
		180	-	5	330	5	50		
ZXTN25012EFH	1,25	500	1500	0,01	32	1	100	23	SOT23
		300	-	4	190	6	120		
ZXT13N15DE6	1,1	300	900	1	70	1	10	29	SOT23-6
		200	-	5	200	5	100		
ZXTN19020CFF	1,5	200	500	0,1	65	1	10	18	SOT23F
		100	-	7	70	2	40		
FMMT617	0,625	300	-	0,2	14	0,1	10	50	SOT23
		200	-	3	200	3	50		

Диод VD1 — диод Шотки 2 А, 40 В.

Накопительный дроссель L1. В качестве накопительного дросселя можно использовать как промышленные SMD Power Inductor, так и самодельные. Дроссель L1 должен выдерживать максимальный ток силового ключа VT1 без насыщения магнитопровода.



Совет.

Активное сопротивление обмотки дросселя не должно превышать 0,1 Ом, иначе КПД преобразователя заметно снизится.

При самостоятельной намотке для контроля понадобится измеритель индуктивности.

Токоизмерительный резистор R1. Низкоомный резистор R1 сопротивлением 18 мОм получен параллельным соединением трех SMD резисторов двух 0,05 Ом и одного 0,1 Ом.

Токоизмерительный резистор R2. Низкоомный резистор R2 сопротивлением 0,82—0,33 Ом получен параллельным соединением двух (трех) SMD резисторов 1,6—1 Ом.

Конденсаторы C1, C2 — с малым ESR, C1 — керамический (или танталовый), C2 — танталовый.

Печатная плата (размер 26 × 43 мм) показана на рис. 5.21. Она выполнена на двухстороннем стеклотекстолите. Вторая сторона экран соединена с минусом питания. На рис. 5.22 показано готовое устройство в сборе.

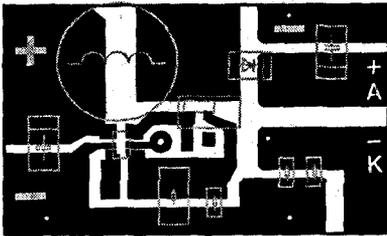


Рис. 5.21. Печатная плата (размер 26 × 43 мм)

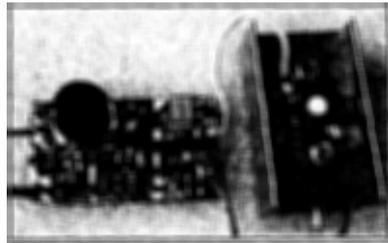


Рис. 5.22. Готовое устройство в сборе

Схема для питания светодиодов мощностью 5 Вт типа LUXEON V

Следующая схема (рис. 5.23) предназначена для питания 5 Вт светодиодов типа LUXEON V имеющих параметры:

- ♦ падение напряжения — 7 В;
- ♦ поминальный ток — 0,7 А.

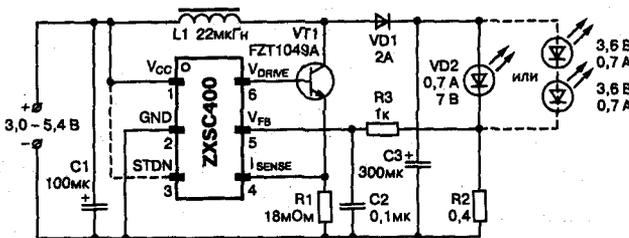


Рис. 5.23. Схема питания светодиодов, мощностью 5 Вт типа LUXEON V

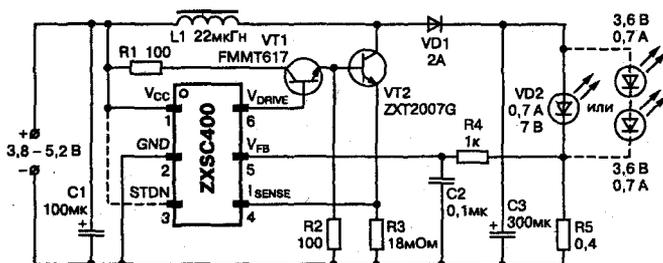


Рис. 5.24. Питание светодиодов типа LUXEON V с применением составного транзистора

Один такой светодиод можно заменить, например, двумя по 3 Вт (с падением 3,6 В), включенными последовательно.

В качестве силового ключа можно использовать составной транзистор FMMT617 + ZXTN2007G, как показано на рис. 5.24. Использование составного транзистора позволяет увеличить количество подключаемых светодиодов. На рис. 5.25 показано готовое устройство в сборе.

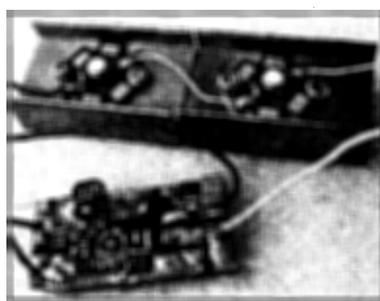


Рис. 5.25. Готовое устройство в сборе

Понижающие преобразователи Step Down (buck) на ZXSC400

Рассмотренные выше схемы относятся к **повышающим** преобразователям Step-Up (boost). Т. е. входное напряжение источника питания здесь меньше, чем выходное. Но в ряде случаев необходимо запитать светодиод или группу светодиодов от напряжения, которое больше, чем напряжения падения на самих светодиодах. В этом случае следует использовать схему **понижающего преобразователя на ZXSC400**. В англоязычном варианте — Step down converter (рис. 5.26). Т. к. в этой схеме один компаратор не используется, то ZXSC400 можно заменить на ZXSC310, а если

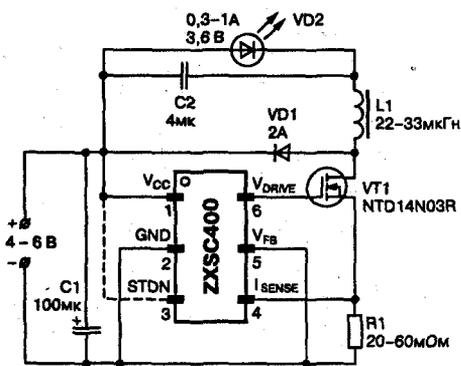


Рис. 5.26. Схема понижающего Step down converter

функция управления яркостью не нужна — то и пройдет замена на ZXSC300.

В качестве силового ключа в данной схеме удобно использовать подходящий по мощности низковольтный n-канальный Power MOSFET, например, IRLR024N, IRLU024N, IRF7811A, IRF7809A, IRF7807 и др. Но при регулировке с помощью ШИМ предпочтение следует отдавать биполярному транзистору, например, FZT1049A.

При использовании полевого транзистора вывод 1 и 3 ZXSC400 (ZXSC310) должны быть обязательно соединены между собой.

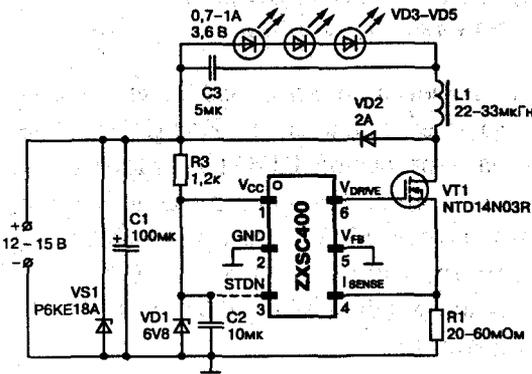


Рис. 5.27. Понижающий Step down converter с питанием от 12 В с использованием полевого транзистора

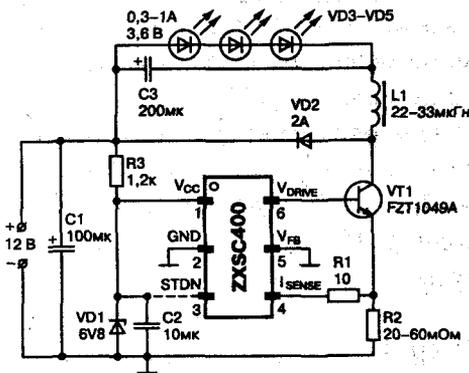


Рис. 5.28. Понижающий Step down converter с питанием от 12 В с использованием биполярного транзистора

Как мы помним, у ZXSC400 верхний предел питания составляет 8 В, поэтому для питания от 12 В (и более) требуется простейший параметрический стабилизатор, состоящий из резистора и стабилитрона. На рис. 5.27 и рис. 5.28 показаны схемы понижающих Step down converter при питании от 12 В.

Такая схема предназначена для питания трех мощных светодиодов с рабочим током 0,7—1 А, включен-

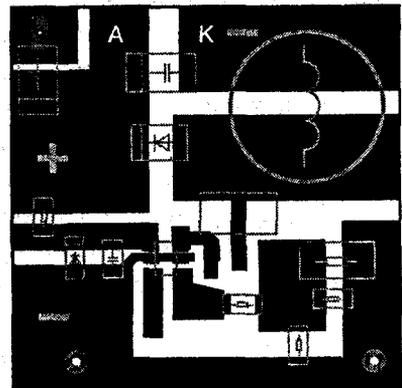


Рис. 5.29. Вариант печатной платы

ных последовательно. В авторском варианте использованы светодиоды EDWX-KLC8-A3 со световым потоком 160 люмен. Данная схема хорошо подходит для мощной велофары или автомобильных «противотуманок». Сапрессор (защитный стабилитрон) VS1 предназначен для гашения выбросов напряжения, которые могут возникнуть при работе автомобильного генератора.

Вариант печатной платы показан на рис. 5.29 (размер 33 × 33.мм). Плата выполнена на двухстороннем стеклотекстолите, вторая сторона соединена с минусом питания.

Устройства управления световым потоком и контроля разряда аккумуляторов

Итак, преобразователь у нас уже имеется, но хотелось бы еще управлять световым потоком (яркостью светодиодов). У ZXSC400 имеет вывод STDT (вывод 3). Подавая на этот вывод ШИМ (с частотой не менее 120 Гц), можно легко управлять яркостью светодиодов, а также включать или выключать преобразователь. При этом преобразователь следует использовать с биполярным транзистором. На рис. 5.30 показаны варианты реализации этого на микроконтроллере ATtiny13 (далее МК) при различных напряжениях питания.

При использовании ATtiny13V нижний порог питания можно снизить до 1,8 В. Алгоритм работы следующий: при кратковременном нажатии на кнопку SB1 на выводе 5 МК появляется высокий логический уровень, который поступает на вывод STDT (вывод 3) ZXSC400 и тем самым разрешает работу на максимальной яркости. При втором нажатии яркость уменьшается до 60 %, следующее нажатие — 35 %, следующее — 5 %, следующее — выключение. Выключение можно произвести также длительным нажатием более 2 с и удержанием кнопки SB1.

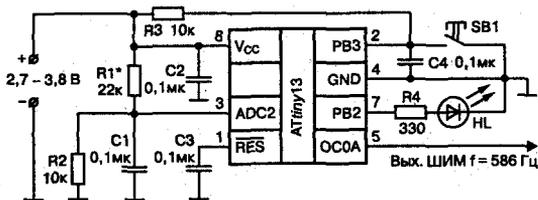
В данной схеме на МК возложена еще одна функция — контроль и сигнализация разряда аккумуляторов (элементов питания). Делителем R1 и R2 задается порог срабатывания. При разряде аккумуляторов ниже этого порога — начинает мигать светодиод HL.

Резистор R1 вычисляется из формулы

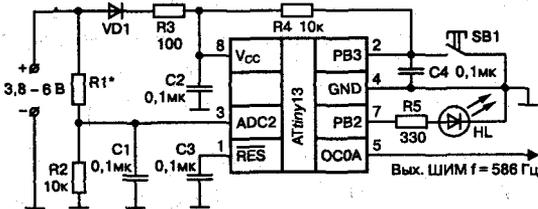
$$R1 = R2 (U_{cp} - 1)$$

где $R2 = 10 \text{ кОм}$,

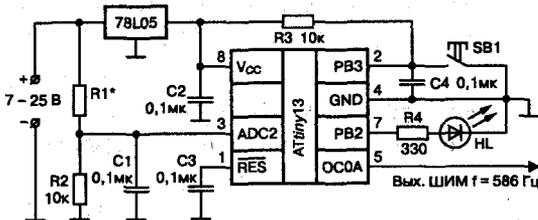
U_{cp} — напряжение срабатывания (пороговое напряжение).



а



б



в

Рис. 5.30. Устройства управления световым потоком и контроля разряда аккумуляторов

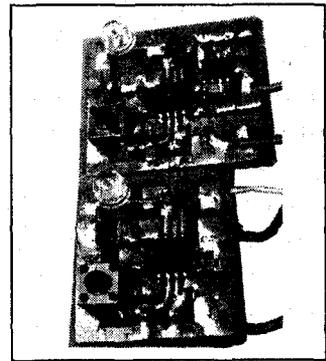


Рис. 5.31. Внешний вид готового устройства (фото 1)

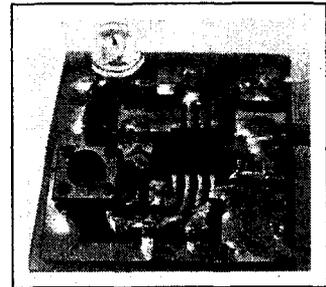


Рис. 5.32. Внешний вид готового устройства (фото 2)

Например, нам надо отследить напряжение 3 В (разряд трех аккумуляторов)

$$R1 = R2 (U_{\text{ср}} - 1) = 10 \text{ кОм} (3 - 1) = 20 \text{ кОм}$$

Если контроль питания не требуется, то элементы R1, R2, HL можно не устанавливать, но вывод 3 МК (вход АЦП) следует соединить с выводом 8 через резистор 10 кОм. Внешний вид готового устройства показан на рис. 5.31 и рис. 5.32.



Примечание.

Прошивка ATtiny13 (ATtiny13V) находится в файле PWM.hex на диске, прилагаемом к книге.

Конфигурация фьюзов:

CKSEL0=0, CKSEL1=1, SUT0=0, SUT1=1, CKDIV8=0;

0 — значит запрограммированный бит.

Светодиодный электромеханический фонарь

Довольно эффективно применение новых светодиодов в электромеханическом фонаре (рис. 5.33). Дело в том, что в нем источником энергии является электрогенератор переменного тока с ручным приводом. При использовании лампы накаливания необходимо прилагать заметные усилия сначала для того, чтобы разогреть, а затем и поддерживать в нагретом состоянии ее нить накала.

Светодиод же будет светить сразу после появления напряжения, ему не требуется времени на разогрев. Кроме того, срок службы светодиода и светотдача существенно выше, чем лампы накаливания.

Но простая замена лампочки накаливания на светодиод в нашем варианте нецелесообразна.

Во-первых, электрогенератор вырабатывает переменное напряжение, а для питания светодиода необходимо постоянное, поэтому требуется выпрямитель.

Во-вторых, большинство таких фонарей предназначено для работы с лампами накаливания на 2,5 В, а амплитуда напряжения электрогенератора составляет около 3 В. Для светодиода же требуется несколько большее напряжение, поэтому выпрямитель придется изготовить с удвоением напряжения.

В-третьих, светодиод имеет небольшое динамическое сопротивление и при незначительном увеличении питающего напряжения потребляемый ток может значительно возрасти. Поэтому потребуется ограничитель тока.

Схема устройства, отвечающего этим требованиям, показана на рис. 5.34.

На диодах (с барьером Шоттки) VD1, VD2 и конденсаторах C1, C2 собран выпрямитель с удвоением напряжения. На транзисторах VT1, VT2 и резисторах R1, R2 собран стабилизатор тока для питания светодиода EL1.

Работает устройство следующим образом. После начала работы электрогенератора его напряжение поступает на выпрямитель, а затем — на стабилизатор тока. Через резистор R1 напряжение подается на базу

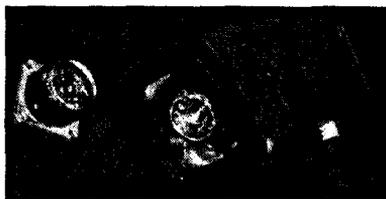


Рис. 5.33. Внешний вид электромеханического фонаря

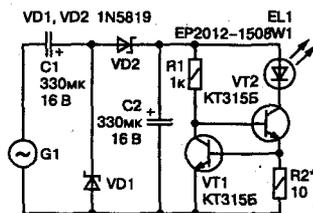


Рис. 5.34. Схема устройства питания с ограничением тока

функция управления яркостью не нужна — то и пройдет замена на ZXSC300.

В качестве силового ключа в данной схеме удобно использовать подходящий по мощности низковольтный n-канальный Power MOSFET, например, IRLR024N, IRLU024N, IRF7811A, IRF7809A, IRF7807 и др. Но при регулировке с помощью ШИМ предпочтение следует отдавать биполярному транзистору, например, FZT1049A.

При использовании полевого транзистора вывод 1 и 3 ZXSC400 (ZXSC310) должны быть обязательно соединены между собой.

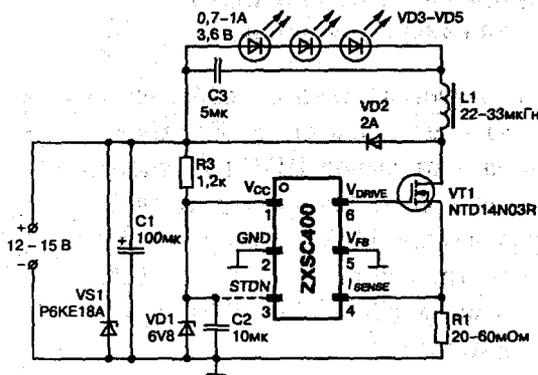


Рис. 5.27. Понижающий Step down converter с питанием от 12 В с использованием полевого транзистора

Как мы помним, у ZXSC400 верхний предел питания составляет 8 В, поэтому для питания от 12 В (и более) требуется простейший параметрический стабилизатор, состоящий из резистора и стабилитрона. На рис. 5.27 и рис. 5.28 показаны схемы понижающих Step down converter при питании от 12 В.

Такая схема предназначена для питания трех мощных светодиодов с рабочим током 0,7—1 А, включен-

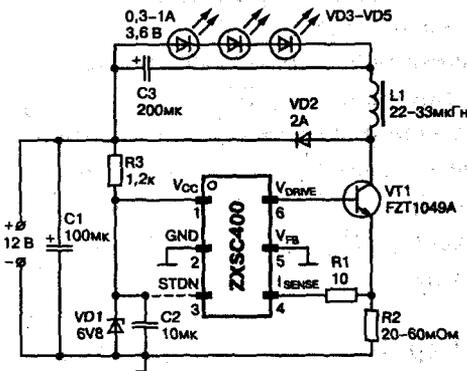


Рис. 5.28. Понижающий Step down converter с питанием от 12 В с использованием биполярного транзистора

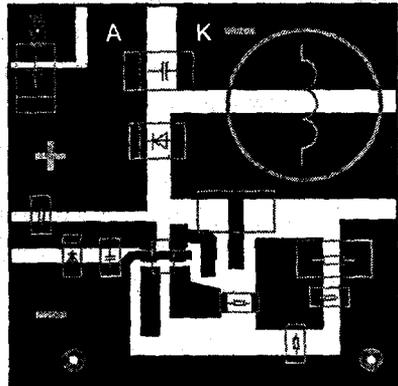


Рис. 5.29. Вариант печатной платы

ных последовательно. В авторском варианте использованы светодиоды EDWX-KLC8-A3 со световым потоком 160 люмен. Данная схема хорошо подходит для мощной велофары или автомобильных «противотуманок». Сапрессор (защитный стабилитрон) VS1 предназначен для гашения выбросов напряжения, которые могут возникнуть при работе автомобильного генератора.

Вариант печатной платы показан на рис. 5.29 (размер 33 × 33 мм). Плата выполнена на двухстороннем стеклотекстолите, вторая сторона соединена с минусом питания.

Устройства управления световым потоком и контроля разряда аккумуляторов

Итак, преобразователь у нас уже имеется, но хотелось бы еще управлять световым потоком (яркостью светодиодов). У ZXSC400 имеет вывод STDT (вывод 3). Подавая на этот вывод ШИМ (с частотой не менее 120 Гц), можно легко управлять яркостью светодиодов, а также включать или выключать преобразователь. При этом преобразователь следует использовать с биполярным транзистором. На рис. 5.30 показаны варианты реализации этого на микроконтроллере ATtiny13 (далее МК) при различных напряжениях питания.

При использовании ATtiny13V нижний порог питания можно снизить до 1,8 В. Алгоритм работы следующий: при кратковременном нажатии на кнопку SB1 на выводе 5 МК появляется высокий логический уровень, который поступает на вывод STDT (вывод 3) ZXSC400 и тем самым разрешает работу на максимальной яркости. При втором нажатии яркость уменьшается до 60 %, следующее нажатие — 35 %, следующее — 5 %, следующее — выключение. Выключение можно произвести также длительным нажатием более 2 с и удержанием кнопки SB1.

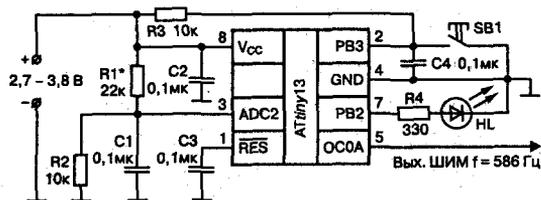
В данной схеме на МК возложена еще одна функция — контроль и сигнализация разряда аккумуляторов (элементов питания). Делителем R1 и R2 задается порог срабатывания. При разряде аккумуляторов ниже этого порога — начинает мигать светодиод HL.

Резистор R1 вычисляется из формулы

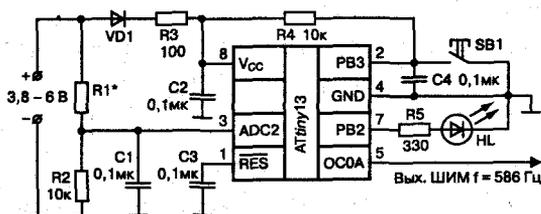
$$R1 = R2 (U_{ср} - 1)$$

где $R2 = 10 \text{ кОм}$,

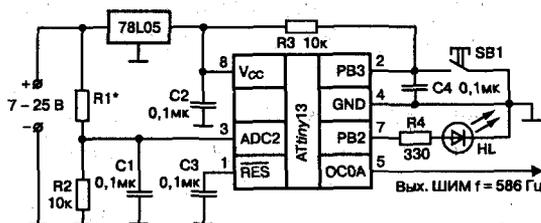
$U_{ср}$ — напряжение срабатывания (пороговое напряжение).



а



б



в

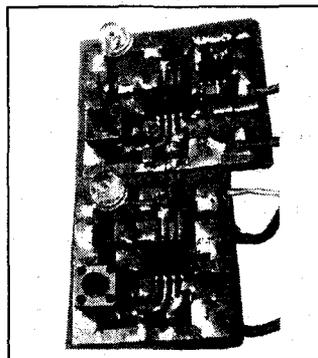


Рис. 5.31. Внешний вид готового устройства (фото 1)

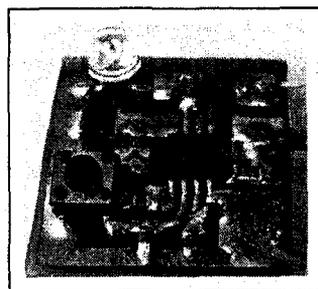


Рис. 5.32. Внешний вид готового устройства (фото 2)

Рис. 5.30. Устройства управления световым потоком и контроля разряда аккумуляторов

Например, нам надо отследить напряжение 3 В (разряд трех аккумуляторов)

$$R1 = R2 (U_{\text{ср}} - 1) = 10 \text{ кОм} (3 - 1) = 20 \text{ кОм}$$

Если контроль питания не требуется, то элементы R1, R2, HL можно не устанавливать, но вывод 3 МК (вход АЦП) следует соединить с выводом 8 через резистор 10 кОм. Внешний вид готового устройства показан на рис. 5.31 и рис. 5.32.



Примечание.

Прошивка ATtiny13 (ATtiny13V) находится в файле PWM.hex на диске, прилагаемом к книге.

Конфигурация фьюзов:

CKSEL0=0, CKSEL1=1, SUT0=0, SUT1=1, CKDIV8=0;

0 — значит запрограммированный бит.

Светодиодный электромеханический фонарь

Довольно эффективно применение новых светодиодов в электромеханическом фонаре (рис. 5.33). Дело в том, что в нем источником энергии является электрогенератор переменного тока с ручным приводом. При использовании лампы накаливания необходимо прилагать заметные усилия сначала для того, чтобы разогреть, а затем и поддерживать в нагретом состоянии ее нить накала.

Светодиод же будет светить сразу после появления напряжения, ему не требуется времени на разогрев. Кроме того, срок службы светодиода и светотдача существенно выше, чем лампы накаливания.

Но простая замена лампочки накаливания на светодиод в нашем варианте нецелесообразна.

Во-первых, электрогенератор вырабатывает переменное напряжение, а для питания светодиода необходимо постоянное, поэтому требуется выпрямитель.

Во-вторых, большинство таких фонарей предназначено для работы с лампами накаливания на 2,5 В, а амплитуда напряжения электрогенератора составляет около 3 В. Для светодиода же требуется несколько большее напряжение, поэтому выпрямитель придется изготовить с удвоением напряжения.

В-третьих, светодиод имеет небольшое динамическое сопротивление и при незначительном увеличении питающего напряжения потребляемый ток может значительно возрасти. Поэтому потребуются ограничитель тока.

Схема устройства, отвечающего этим требованиям, показана на рис. 5.34.

На диодах (с барьером Шоттки) VD1, VD2 и конденсаторах C1, C2 собран выпрямитель с удвоением напряжения. На транзисторах VT1, VT2 и резисторах R1, R2 собран стабилизатор тока для питания светодиода EL1.

Работает устройство следующим образом. После начала работы электрогенератора его напряжение поступает на выпрямитель, а затем — на стабилизатор тока. Через резистор R1 напряжение подается на базу



Рис. 5.33. Внешний вид электромеханического фонаря

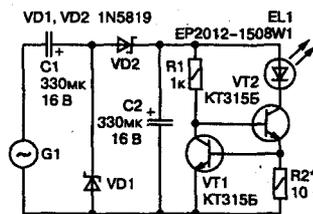


Рис. 5.34. Схема устройства питания с ограничением тока

транзистора VT2, он открывается, светодиод начинает светить. Когда ток через транзистор достигнет значения около 70 мА, напряжение на резисторе R2 возрастет до 0,7 В, и транзистор VT1 откроется.

Напряжение на базе VT2 уменьшится, и, таким образом, ток через светодиод стабилизируется. Значение тока стабилизации можно определить по приближенной формуле

$$I = 0,7/R2.$$

Его можно изменить подбором резистора R2.

Применение стабилизатора тока позволяет получить более стабильное свечение и более рационально расходовать энергию электрогенератора. Поскольку энергия запасается в маховике, то ее экономное расходование позволяет снизить нагрузку. Например, одного нажатия на рычаг хватает на 3—4 с свечения светодиода.

Примененные детали. В устройстве можно применить транзисторы КТ3102 с любым буквенным индексом, выпрямительные диоды с барьером Шотки, конденсаторы желателно танталовые с малыми токами утечки. Ввиду того, что устройство содержит немного элементов, при его изготовлении можно обойтись без печатной платы и монтаж вести навесным методом, часть деталей разместив у светодиода, а часть — у электрогенератора.

Повысить КПД удастся, применив в устройстве германиевые транзисторы (у них падение напряжения на эмиттерном переходе не превосходит 0,25 В) или современные транзисторы с малым падением напряжения ZXTN25012EFH, FZT1049A, ZXTN2007G. В качестве стабилизатора здесь можно применить уже ранее рассмотренные схемы на ZXSC300, ZXSC310, ZXSC400. Напомним, что эти преобразователи можно найти на сайте www.pitaemled.biz.

5.2. Ночники и дежурное освещение на светодиодах

Способы реализации ночного освещения и требования

Помимо всевозможных фонарей и фар светодиоды успешно применяются в дежурном и местном освещении в качестве различных ночников.

Требования по качеству света здесь невысоки. Источник света должен быть простым, компактным и недорогим. При этом широко используются недорогие светодиоды китайского производства как в стандартном 5-мм корпусе, так и в корпусе типа Super Flux. Блок питания строится по безтрансформаторной схеме на гасящем конденсаторе. Рассмотрим несколько практических схем.

Светодиодный ночник в выключателе

Описываемый ниже светодиодный ночник можно встроить в обычный выключатель освещения. Схема устройства показана на рис. 5.35.

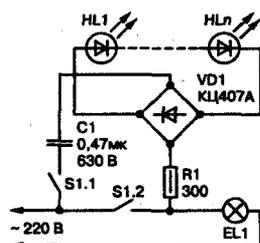


Рис. 5.35. Схема светодиодного ночника, смонтированная в выключателе

S1 — сдвоенный настенный выключатель, EL1 — осветительная лампа накаливания. Если разомкнуты обе группы контактов выключателя, то и лампа, и ночник обесточены. Контакты S1.2, включая освещение, одновременно шунтируют цепь питания ночника. Состояние контактов S1.1 в данном случае не имеет значения. Однако, если они замкнуты, при выключении лампы EL1 контактами S1.2 сетевое напряжение через лампу поступит на ночник.



Примечание.

Без изменения схемы и номиналов других элементов в ночнике может быть установлено от одного до десяти и более соединенных последовательно светодиодов HL1—HLn.

Конденсатор C1 ограничивает ток до необходимого для достаточно яркого свечения светодиодов значения (при указанной на схеме емкости амплитуда тока приблизительно 30 мА), а диодный мост VD1 выпрямляет переменное напряжение перед подачей на светодиоды. При необходимости изменить ток емкость конденсатора пропорционально увеличивают или уменьшают.

Резистор R1 вместе с лампой накаливания ограничивают амплитуду импульсов зарядного и разрядного тока конденсатора при включении и выключении ночника.

В качестве белых светодиодов HL1—HLn любые недорогие светодиоды с номинальным рабочим током 20—40 мА. Диодный мост —

любой из серий КЦ407, или аналогичный импортный. Он должен выдерживать обратное напряжение не менее 400 В, и ток не менее 50—100 мА. Конденсатор C1 — К73-17 на 630 В.



Совет.

Сдвоенный сетевой выключатель, внутрь которого будет установлен ночник, следует выбирать размером побольше, чтобы в нем было достаточно свободного места.

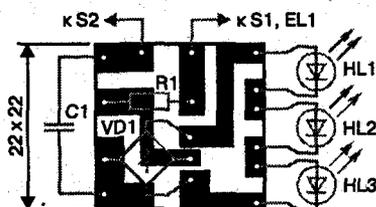


Рис. 5.36. Печатная плата ночника с тремя светодиодами, вмонтируемая в выключатель

Если удастся найти выключатель в корпусе из белой полупрозрачной пластмассы, не придется сверлить отверстия для светодиодов. Будет вполне достаточно света, проникающего сквозь корпус. Детали ночника с тремя светодиодами можно разместить на печатной плате, которая показана на рис. 5.36. Такая плата уместится в клавише выключателя.

Ночник на светодиодах

Устройство, представленное на рис. 5.37, работает в двух режимах. Первый режим условно назовем «дневной», второй — «ночной». При работе ночника в «дневном» режиме, когда фотодиод VD2 освещен, светодиоды EL1—EL3 светятся с пониженной яркостью. Если же уровень внешней освещенности станет меньше пороговой, светодиоды будут гореть с максимальной яркостью.

Переменное сетевое напряжение поступает через гасящий конденсатор C1 и токоограничительный резистор R2 на диодный мост VD1. Выпрямленное напряжение с выхода моста подается на основную часть конструкции.

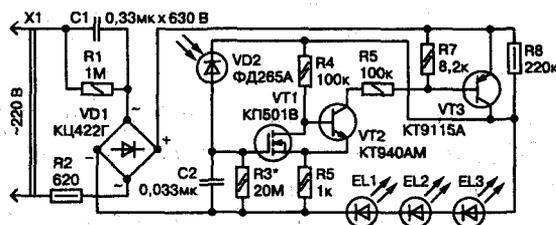


Рис. 5.37. Схема ночника на светодиодах

При работе ночника в «дневном» режиме через освещенный фотодиод VD2 протекает заметный ток. Следовательно, полевой транзистор VT1 открыт и шунтирует малым сопротивлением открытого канала эмиттерный переход высоковольтного транзистора VT2. Транзисторы VT2 и VT3 включены как составной, а транзисторы VT1 и VT2 включены по схеме триггера Шмита. Поэтому при закрытом транзисторе VT2 закрыт и VT3. Светодиоды светятся благодаря протекающему через резистор R8 небольшому току.

Когда фотодиод освещен слабо, устройство переходит в «ночной» режим. Сопротивление фотодиода велико, транзистор VT1 закрыт, VT2 и VT3 открыты. Яркость светодиодов максимальна. Транзисторы VT1 и VT2 охвачены положительной обратной связью для того, чтобы обеспечить два устойчивых состояния транзистора VT3. Ведь он работает без теплоотвода и при переходном процессе (когда VD2 освещен умеренно) он был бы открыт не полностью, и на нем не рассеивалась бы большая мощность.

**Примечание.**

Светодиоды EL1—EL3, кроме своего прямого назначения, еще выполняют роль малоомощного стабилитрона, который защищает фотодиод и затвор полевого транзистора от перегрузки по напряжению.

Сопротивление резистора R2 может показаться несколько завышенным, однако уже при его сопротивлении 240 Ом и искрении в цепи питания может выйти из строя транзистор VT3.

Резисторы можно использовать любые малогабаритные указанной либо большей мощности. Резистор R3 допустимо составить из нескольких резисторов меньшего сопротивления, включенных последовательно.

Конденсатор C1 — К73-16, К73-17 на напряжение не ниже 630 В, **C2** — любой керамический или пленочный, например, КМ-5, К73-9.

**Совет.**

Вместо указанного на схеме диодный мост можно использовать КЦ407А или заменить его четырьмя диодами серии КД209, можно также использовать любой импортный с параметрами 1 А, 1000 В. Вместо полевого транзистора КП501В допустимо использовать любой другой из серии КП501 или «телефонных»

сборок КР1014КТ1, КР1064КТ1 с буквенными индексами А, В. Транзистор КТ940АМ заменим на КТ940А, КТ969А, 2N6517, а VT3 — на 2N6520, 2SA1625 с буквенными индексами М, L, К. Вместо фотодиода ФД265А подойдет ФД265Б, ФД256 или другой подобный малых габаритов либо высокоомный фоторезистор, например, СФ2-8, СФК-1М.

В качестве светодиодов можно применять любые белые светодиоды с номинальным током 20—30 мА.

Правильно собранный датчик не требует настройки. Может только потребоваться подбор резистора R3 для получения необходимой чувствительности, которая выбрана достаточно высокой — ведь работа ночника при сумеречном освещении на полную мощность не имеет смысла.



Совет.

Когда устройство работает в «ночном» режиме, яркость светодиодов большая, поэтому основной световой поток от них желательно направить на потолок.

При желании число светодиодов нетрудно увеличить до пяти без коррекции деталей устройства. В «дневном» режиме ночник потребляет ток около 1 мА, а в «ночном» — около 20 мА. Световой поток от светодиодов не должен попадать на фотодиод.



Внимание.

Проверяя и налаживая устройство, необходимо помнить о том, что оно имеет бестрансформаторное питание, и соблюдать необходимые меры осторожности!!!

Ночник с регулируемой яркостью

При включении ночника (схема показана на рис. 5.38) в сеть (через вилку XP1) напряжение питания, избыток которого гасится конденсатором C1, поступает через защитный резистор R1 на диодный мост VD1. Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитроном VD2 и подается через резисторы R3 и R4 на цепочку из последовательно соединенных светодиодов HL1—HL4. При крайнем левом по схеме положении движка переменного резистора R3 они светятся наиболее ярко. В этом режиме через светодиоды протекает ток 25 мА, их яркость зависит

от используемого типа светодиодов, а прямое напряжение на каждом светодиоде составляет 3,2 В.

Поскольку уровень освещенности, создаваемый четырьмя светодиодами, может оказаться избыточным, его уменьшают переменным резистором R3, снижая ток через светодиоды до 1—3 мА.

Резистор R2 разряжает гасящий конденсатор C1 после выключения питания. Резистор R1 — предохранительный невозгораемый, типа P1-25. Его можно заменить на разрывной импортный P1-7 или, в крайнем случае, установить обычный металлопленочный МЛТ-0,5. Резисторы R2, R4 — МЛТ, C1-4, C2-23, переменный R3 — малогабаритный проволочный ППБ-1А либо более распространенные СП-1, СП3-33, СП4-4. Допустимо использовать и резистор СП3-4, совмещенный с выключателем, обе группы контактов которого соединяют параллельно и включают в разрыв одного из сетевых проводов.

Конденсатор — К73-17, К73-24в, К73-16 на рабочее напряжение не менее 630 В. Подойдет и специальный импортный конденсатор, предназначенный для работы в цепи переменного тока при напряжении 220 В, который можно узнать по обилию надписей на его корпусе, например, CPF 250VX2.

Рекомендуемые замены. Вместо диодного моста КЦ422Г подойдет КЦ407А, DB104—DB107, RB154—RB157. Мост можно собрать из четырех диодов, например, КД105Б, КД209А, КД221В, КД247Г, 1N4004, 1N4007. С указанными на схеме светодиодами стабилитрон КС515А допустимо заменить на Д815Ж, КС518А или двумя последовательно включенными Д814А, КС126Л, КС482А, 1N4738А.

При использовании светодиодов с большим рабочим прямым напряжением либо установке большего количества светодиодов, стабилитрон должен быть с большим напряжением стабилизации при токе 25 мА, например, Д816А—Д816В. Поскольку пленочные конденсаторы имеют небольшой разброс емкости, подбором резистора R4 удастся установить ток через светодиоды 20—22 мА при нулевом сопротивлении резистора R3 и сетевом напряжении 220 В.

Детали ночника смонтированы в самодельном корпусе (рис. 5.39). Если регулировать яркость не нужно, переменный резистор исключают.

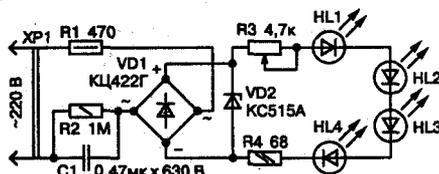


Рис. 5.38. Схема ночника с регулируемой яркостью

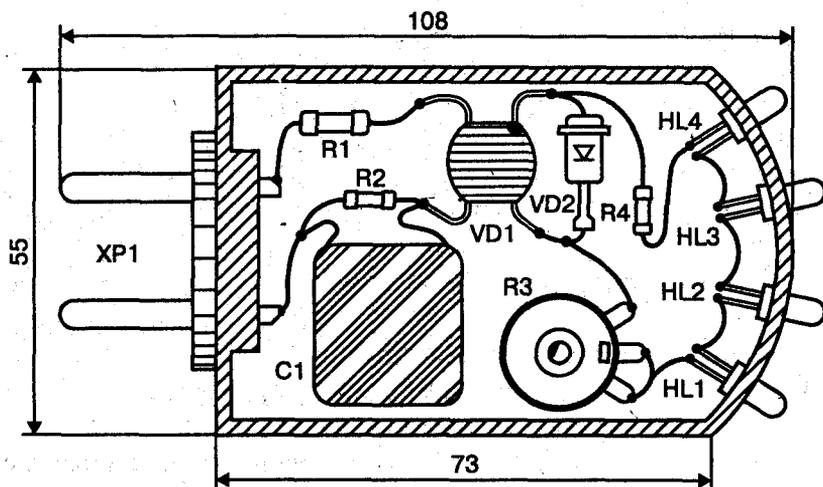


Рис. 5.39. Вариант монтажа ночника



Внимание.

Конструкция не имеет гальванической развязки от осветительной сети, поэтому при ее конструировании, наладивании и эксплуатации необходимо соблюдать правила безопасности!!!

Автоматизированный ночник

Интенсивности светового потока, создаваемого описываемым устройством, достаточно, чтобы, не напрягая зрение, читать газетный текст на расстоянии двух-трех метров от ночника. Схема ночника показана на рис. 5.40.

В процессе эксплуатации этого ночника не требуется его обслуживания. Он не боится тряски, падений, скачков напряжения. Ночник оснащен двумя видами электронных реле: фото и акустическим. Светодиоды светятся только с наступлением темноты при условии, что на мембрану микрофона оказывается достаточное звуковое воздействие. Такой режим работы не только экономит электроэнергию, но и создает более комфортные условия для отдыха.

Микрофонный усилитель собран на микромощном малощумящем операционном усилителе DA1. Его коэффициент усиления определяется отношением сопротивлений резисторов R3 и R5. Для нормальной работы микросхемы напряжение на ее неинвертирующем входе (вывод 3)

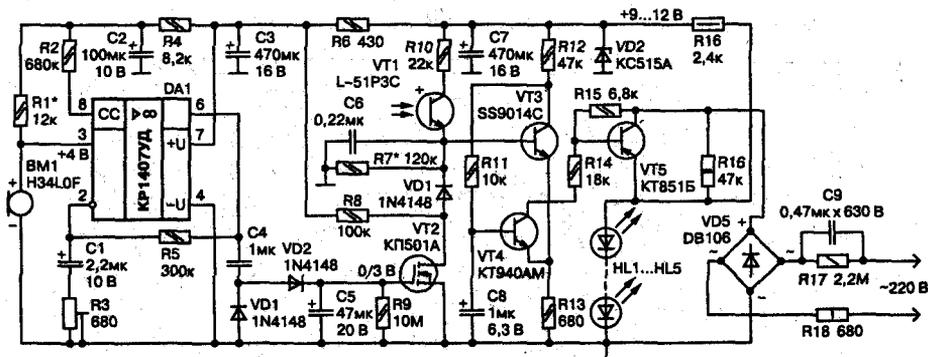


Рис. 5.40. Схема автоматизированного ночника

должно составлять примерно половину от напряжения на выводе питания 7. В делитель напряжения для ОУ входят R1, R4 и микрофон BM1. Резистором R2 задается ток покоя ОУ на уровне 180—300 мкА.

Усиленное ОУ DA1 напряжение звуковой частоты снимается с его выхода и через разделительный конденсатор C4 поступает на однополупериодный выпрямитель, собранный на диодах VD1, VD2. Когда уровень звукового сигнала достаточен, конденсатор C5 заряжается до 2,5—6 В, полевой n-канальный транзистор VT2 обогатненного типа открывается.

Если в это время фототранзистор VT1 не освещен, то транзистор VT3 закрывается, а VT4 и VT5 открываются, что приводит к зажиганию ультраярких светодиодов HL1—HL10. Длительность их свечения после наступления тишины, в основном, зависит от параметров времязадающей цепи C5R9. Цепь включения транзисторов VT3, VT4 представляет собой триггер Шмитта, что обеспечивает работу высоковольтного транзистора VT5 в ключевом режиме. Конденсатор C8 предназначен для более четкого переключения транзисторов триггера.

Чувствительность фотореле к искусственному и естественному освещению задается резистором R7, она тем выше, чем больше его сопротивление.

Устройство питается сетевым напряжением переменного тока 220 В. Напряжение +10 В для питания узлов управления формируется на стабилитроне VD4. Резистор R16 предотвращает обесточивание узлов при закрытом высоковольтном транзисторе VT5. Когда VT5 закрыт, напряжение на его коллекторе относительно общего провода составляет 14—18 В, что мало для зажигания светодиодов, но вполне достаточно для работы параметрического стабилизатора на VD4R16.

Резистор R17 предназначен для разрядки конденсатора C9 после отключения устройства от сети. Резистор R18 уменьшает броски тока через выпрямительный мост VD5 при включении питания ночника.

В конструкции можно использовать постоянные резисторы C2-23, C2-33, C1-4, МЛТ соответствующей мощности. Подстроечный резистор R3 — типа РП1-63м, СПЗ-19а, СПЗ-38а. Конденсатор C5 — танталовый или ниобиевый с малым током утечки из серий К53, К52 или импортный. Гасящий конденсатор C9 — типа К73-24, К73-17, К73-16 или импортный аналог на напряжение не ниже 630 В и указанной на принципиальной схеме емкости. Конденсатор C4 — обязательно пленочный, например, К73-17 емкостью 1 мкФ на 63 В. Керамический C6 — К10-17, КМ-5. Остальные конденсаторы — оксидные малогабаритные. По возможности конденсаторы следует использовать производства известных зарубежных фирм, например, Samsung, Keltron, Rubycon или отечественные последних разработок.

Замены. Диоды VD1—VD3 можно заменить кремниевыми маломощными диодами серий КД503, КД512, КД521, КД522. Стабилитрон VD4 заменяется на КС406Б, КС210Ж, КС207А, Д814В, 1N4710, TZMC-10. Диодный мост VD5 можно установить DB104, DB107, КС407А, КС422Г или установить четыре выпрямительных диода, например, типа КД243Ж, 1N4004, 1N4007.

Полевой МОП-транзистор VT2 можно заменить на любой из серии КП301 или на аналогичный токовый ключ КР1014КТ1А, КР1064КТ1А. Транзистор VT3 заменяется любым из серий КТ3102, 2SC1222, 2SC1845. VT4 заменим на КТ940А, КТ969А, MPSA42, 2SC2330. Вместо мощного высоковольтного КТ851Б можно использовать 2SA1400, 2SA1776 или КТ9115А, КТ9178А.

Микрофон можно применить любой малогабаритный электретный с током потребления не более 500 мкА.

Фототранзистор с темновым током менее 100 нА можно заменить на L-51P3, L-32P3С или аналогичный. В этой конструкции можно применить HL1—HL5, любые белые светодиоды с номинальным током 20—30 мА.



Совет.

При разводке печатной платы следует минимизировать подогрев транзистора VT5 резисторами R16, R18. Световой поток от светодиодов не должен попадать на фототранзистор. В большинстве случаев будет полезна экранировка медной или латунной фольгой каскада на операционном усилителе DA1.

Наладка правильно собранного устройства сводится к установке баланса ОУ подбором резистора R1, установке порога акустической чувствительности резистором R3 и светочувствительности резистором R7. Для удобства эксплуатации чувствительность «органов чувств» ночника устанавливается максимально возможной.

Если при светящихся светодиодах напряжение между выводами коллектора и эмиттера транзистора VT5 будет более 7 В, следует заменить этот транзистор на экземпляр с большим коэффициентом передачи тока базы. Если чувствительность микрофона окажется недостаточной, то перед детектором на VD1, VD2 можно установить один дополнительный усилительный каскад на биполярном р-п-р транзисторе, работающий с током коллектора 300—400 мкА.

Параллельно резистору R7 можно установить малогабаритную кнопку с фиксацией, что позволит принудительно включать светодиоды вне зависимости от состояния обоих датчиков.

5.3. Светодиодные лампы

Основные параметры светодиодных ламп

К светодиодным лампам для общего освещения предъявляются более жесткие требования, чем к рассмотренным ранее ночникам. Прежде всего, это связано с тем, что они должны заменить обычные лампы накаливания (ЛН), при этом заменить без ухудшения основных светотехнических параметров, при этом должен присутствовать положительный эффект экономии электроэнергии и оправданы пока довольно высокие первоначальные затраты.

Перечислим основные параметры:

- ♦ световой поток (единичной лампы) — не менее 500 лм, что эквивалентно ЛН мощностью 40—60 Вт;
- ♦ световая отдача не менее 60 лм/Вт;
- ♦ индекс цветопередачи (Ra) — не менее 80;
- ♦ долговечность без потери основных светотехнических параметров;
- ♦ небольшие размеры, стандартный цоколь (E27).

Сегодня уже промышленно выпускаются светодиодные лампы, удовлетворяющие этим требованиям. Например, лампы с использованием светодиодов серии OSTAR. Внешний вид таких светодиодных ламп показан на рис. 5.41 и рис. 5.42.

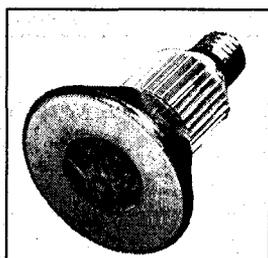


Рис. 5.41. Внешний вид светодиодной лампы (первый вариант)



Рис. 5.42. Внешний вид светодиодной лампы (второй вариант)

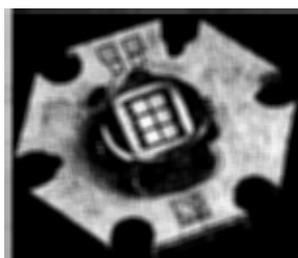


Рис. 5.43. Внешний вид светодиода Ostar

Достоинством светодиодов OSTAR (рис. 5.43) является большой световой поток (единичного светодиода) 500 лм. Это достигается за счет использования 6 светоизлучающих кристаллов в едином корпусе. В 2008 году OSRAM начала выпуск светодиодов с новыми светоизлучающими кристаллами со световой отдачей 100 лм/Вт. А световой поток единичного светодиода серии OSTAR доведен до 1000 лм. Многие производители светодиодных ламп используют групповое соединение светодиодов от 6 и более. Внешний вид такого модуля показан на рис. 5.44. Параметры высокоэффективных светодиодов различных производителей, которые используют для создания светодиодных ламп, собраны в табл. 5.3.

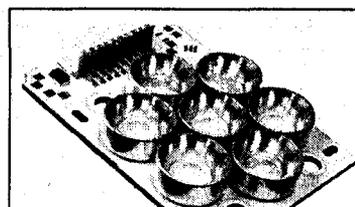


Рис. 5.44. Внешний вид модуля с групповым соединением светодиодов

Параметры высокоэффективных светодиодов различных производителей, которые используют для создания светодиодных ламп

Таблица 5.3

Производитель	Серия	Наименование	Световой поток, лм	Цветовая температура, К	Питание, мА
Cree, Inc. http://www.cree.com/	XLamp XR-E	XREWHT-L1-0000-00D01 (Q5)	107	6500	350 мА
		XREWHT-L1-0000-009E4	80	4000	
		XREWHT-L1-0000-008E7	74	3200	
Philips Lumileds Lighting Company http://www.lumileds.com/	LUXEON Rebel	LXML-PWC1-0100	100	6500	350 мА
		LXML-PWN1-0080	80	4000	
		LXML-PWW1-0060	60	3100	

Таблица 5.3 (продолжение)

Производитель	Серия	Наименование	Световой поток, лм	Цветовая температура, К	Питание, мА
OSRAM Opto Semiconductors http://www.osram-os.com/	OSTAR	LEW E3A	400	5000	350—700
Nichia Corporation http://www.nichia.com		NS6W083A	80		350
	NICHIAGAIA	NJSW107	100		350
Seoul Semiconductors http://www.seoulsemicon.co.kr	Z-Power LED P4	W42182 S42182 N42182	95 70 60	6500 4000 3100	350
	Z-Power LED P7	W724C0	700	6000	2600
	ACRICHE	AN2231 AW2231			Непосредственно от сети 220 В
Edison Opto Corporation http://www.edison-opto.com.tw	К-серия	EDSW-KLC8-B5	100	6000	350—700
		EDSX-KLC8-A3	80	3200	

Изготовление простой светодиодной лампы

Сгруппировав подходящие светодиоды, можно изготовить простую светодиодную лампу самостоятельно. На рис. 5.45 показана принципиальная схема подобной светодиодной лампы.

Основные элементы устройства — диодный мост VD1 и конденсаторы C1, C2. Первый из них — балластный, его емкость выбрана такой, чтобы ток через светодиоды не превышал 26 мА.

Для того чтобы увеличить ток, емкость конденсатора следует увеличить. Основное назначение конденсатора C2 — сглаживать пульсации напряжения, выпрямленного мостом VD1. В результате этого световой поток светодиодов тоже будет без пульсаций.

При включении «лампы» в сеть конденсатор C2 замыкает собой импульс зарядного тока конденсатора C1. В первом полупериоде напряжение распреде-

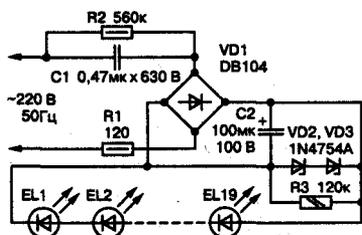


Рис. 5.45. Принципиальная схема светодиодной лампы

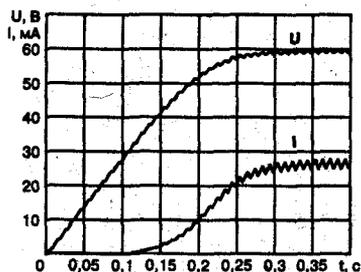


Рис. 5.46. График зависимости тока и напряжения от времени

ляется между конденсаторами обратно пропорционально их емкости, и конденсатор C2 заряжается всего до

$$220 \sqrt{2 \frac{0,47}{100}} = 1,5 \text{ В.}$$

В следующих полупериодах напряжение U на конденсаторе нарастает ступенями до 58—60 В, как показано на рис. 5.46.

При этом напряжении ток I через светодиоды, достигнув значения, ограниченного реактивным сопротивлением конденсатора C1, дальше уже не увеличивается. Остальные элементы выполняют защитные функции.



Примечание.

Наиболее важны стабилитроны VD2 и VD3. Суммарное напряжение их стабилизации должно быть больше 60 В номинального падения напряжения на светодиодах, но меньше 100 В допустимого напряжения на конденсаторе C2! Если количество светодиодов требуется увеличить, то, соответственно, следует увеличить и напряжение стабилизации защитных стабилитронов и напряжение конденсатора C2.

Пока светодиоды исправны, закрытые стабилитроны не влияют на их работу. При обрыве в цепи светодиодов стабилитроны открываются, не позволяя напряжению на конденсаторе достичь опасного уровня.

Резистор R1 ограничивает амплитуду импульса зарядного тока конденсатора C1. Только в этот момент рассеиваемая на резисторе энергия значительна, поэтому его номинальная мощность выбрана с большим запасом. Резисторы R2 и R3 служат для быстрой разрядки конденсаторов после отключения питания.

Все детали «лампы» смонтированы на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1 мм. Чертеж платы представлен на рис. 5.47.

Детали (за исключением конденсаторов) установлены, как обычно, на свободной от печатных проводников стороне платы. Дiodный мост, стабилитроны и резисторы монтируют первыми. Светодиоды установ-

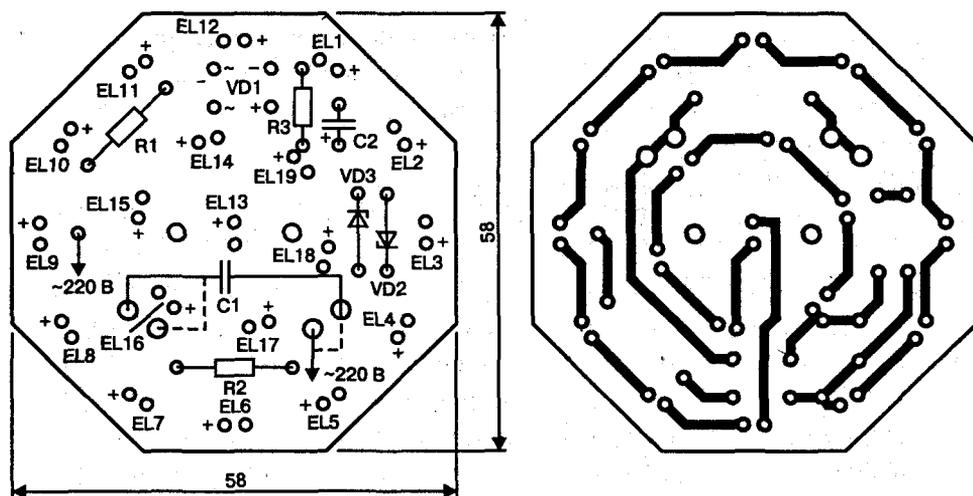


Рис. 5.47. Чертеж печатной платы светодиодной лампы

ливают в последнюю очередь. Конденсаторы располагают со стороны печатных проводников, причем для С1 предусмотрены две пары контактных площадок. В зависимости от габаритов примененного конденсатора (он может быть отечественным К73-17 или подобным импортным) используют одну из пар. К оставшейся незанятой выводом конденсатора площадке в левой части платы припаивают один из сетевых проводов. Второй сетевой провод соединяют с контактной площадкой в правой части платы.



Совет.

В качестве корпуса и цоколя удобно использовать корпус от КЛЛ (компактной люминесцентной лампы).

Светодиодные лампы на светодиодах Lighting Class

В рассмотренных ранее схемах светодиодных ламп использовались светодиоды небольшой мощности с рабочим током 20—100 мА. Но сегодня все чаще стали использоваться более мощные светодиоды класса «Lighting Class».

«Lighting Class» — этот термин используется для обозначения мощных белых светодиодов с номинальным рабочим током 350—1000 мА, параметры которых, в первую очередь, — световой поток, светоотдача и время жизни, позволяют использовать их в системах общего освещения.

В связи с тем, что рабочий ток этих светодиодов составляет 0,3—1 А, требуется применение соответствующих блоков питания.



Примечание.

Бестрансформаторные схемы на гасящем конденсаторе для питания мощных светодиодов не подходят.

Пути решения проблемы несколько. **Во-первых**, можно использовать подходящий по мощности импульсный блок питания с напряжением на выходе 12—36 В от любой бытовой или офисной аппаратуры. А стабилизацию тока через светодиоды осуществлять с помощью Step-Down (Buck) преобразователя на ZXSC300, ZXSC310, ZXSC400 (рассмотренного ранее). **Во-вторых**, можно использовать другие специализированные микросхемы, например, NCP3065. Схемы включения NCP3065 показаны на рис. 5.48.

Второй способ питания светодиодов Lighting Class от сети 220 В — использование специализированных микросхем преобразователей, работающих непосредственно от сети 220 В.

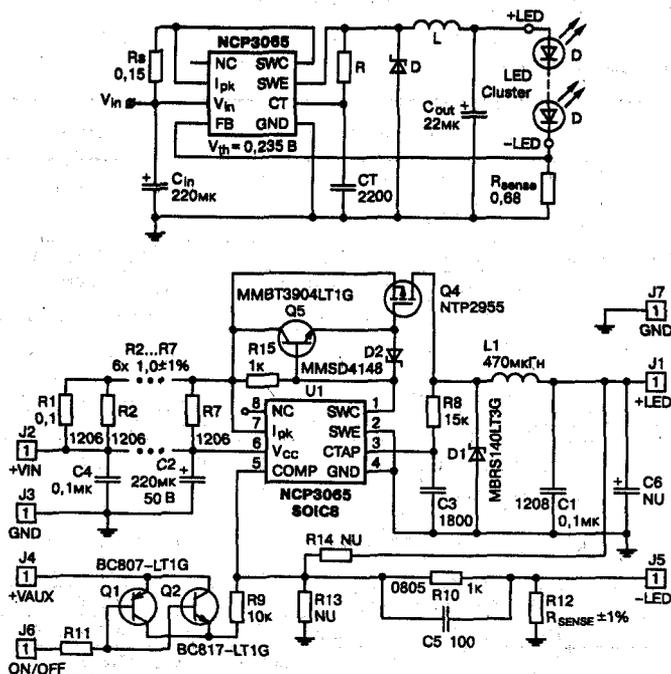


Рис. 5.48. Схемы включения NCP3065



Рис. 5.49. Внешний вид платы

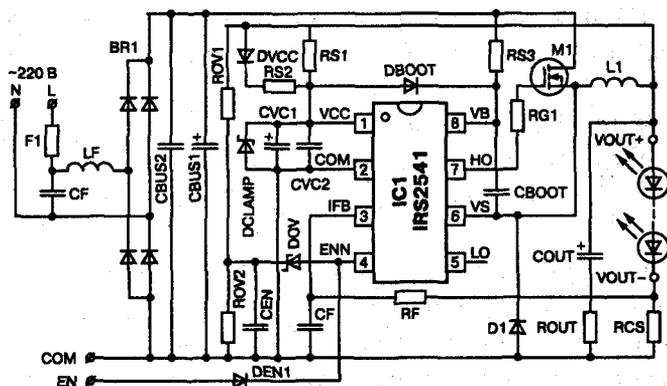


Рис. 5.50. Принципиальная схема устройства с использованием специализированных микросхем преобразователей, работающих непосредственно от сети 220 В

Например, можно использовать преобразователь на микросхеме IRS2541 от известного нам уже производителя www.irf.com. Внешний вид платы показан на рис. 5.49. Принципиальная схема — на рис. 5.50. Используемые элементы приведены в табл. 5.4.

Элементы, используемые в схеме

Таблица 5.4

№ п/п	Обозначение на схеме	Наименование	Тип	Кол-во
1	CVCC1	Электролитический конденсатор 10 мкФ, 25 В	UVZ1E100MDD	1
2	CBUS2	Конденсатор, 100 нФ, 400 В	MKP10	1
3	CVCC2, CBOOT, CEN	Конденсатор, 100 нФ, 50 В	VJ0805Y104KXATW1BC	3
4	COUT	Конденсатор, 33 мкФ, 100 В	UVZ2A330MPD	1
5	CF	Конденсатор, 1 нФ, 50 В, 0805	VJ0805Y102KXACW1BC	1
6	CBUS1	Электролитический конденсатор, 47 мкФ, 450 В	EEU-EB2W470	1
7	DBOOT	Сверхбыстрый диод, 600 В, 1 А	MURS160DICT	1
8	DEN1, DVCC	Диод 4148	LL4148	2
9	D1	Диод 400 В, 8 А, ТО-220	8ETU04	1
10	DCLAMP	Диод Зенера 14 В, 0,5 Вт	ZMM5244B-7	1
11	DOV	Диод Зенера 7,5 В, 0,5 Вт	ZMM5236B-7	1
12	L1	Индуктивность 470 мкГн	IL 050 321 31 01	1
13	RG1	Резистор 10 Ом, 1 %	MCR10EZH10R0	1
14	RCS	Резистор 1,43 Ом, 1 %	ERJ-8RQFR56V	1
15	RF	Резистор 100 Ом, 1 %, 0805	MCR10EZH1000	1
16	ROV2	Резистор 390 Ом, 5 %, 1/2 Вт, 2010	ERJ12ZYJ391	1
17	ROV1	Резистор 2 кОм, 5 %, 1/2 Вт, 2010	ERJ12ZYJ202	1

Таблица 5.4 (продолжение)

№ п/п	Обозначение на схеме	Наименование	Тип	Кол-во
18	RS2	Резистор 1 кОм, 5 %, 1 Вт	5073NW1K000J12AFX	1
19	RS3	Резистор 47 кОм, 5 %, 1 Вт	5073NW47K00J12AFX	1
20	RS1	Резистор 56 кОм, 5 %, 1 Вт	5073NW56K00J12AFX	1
21	Rout	Резистор 5 Ом, 5 %, 1 Вт	5073NW5R100J12AFX	1
22	IC1	LED микросхема	IRS2541PBF	1
23	M1	500 В, 20 А, TO-220	IRFB20N50K	1
24		Heatsink	7-340-1PP-BA	1
25		TO-220 Insulating Thermal Pad	SP600-54	2
26		Shoulder Washer	3049	2
27		Индикатор, 4-40, 0,5», Zinc	H346-ND	1
28		Nut, 4-40, Hex, Zinc	H216-ND	1
29	F1	Fuse, 0,5 Ом, 1/2 Вт	CW 1/2	1
30	BR1	Мостовой выпрямитель, 1 А, 1000 В	DF10S	1
31	CF	Конденсатор, 0,33 мкФ, 275 ВАС	F1772433-2200	1
32	LF	EMI индуктивность, 470 мкГн	RFB1010-471	1

Второй вариант блока питания на ИМС NCP1014

Вариант еще одного блока питания на микросхеме NCP1014 показан на рис. 5.51.

Но не всем светодиодам необходим внешний преобразователь и стабилизатор тока. Фирма Seoul Semiconductor серийно производит светодиоды серии Acriche.

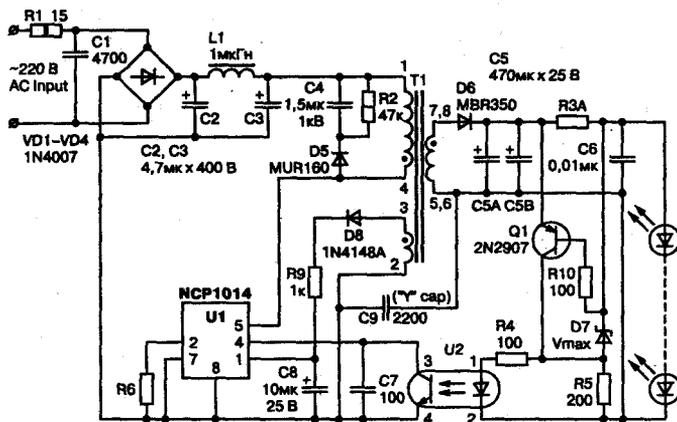


Рис. 5.51. Вариант схемы блока питания на микросхеме NCP1014

**Примечание.**

Данные светодиоды и светодиодные модули на их базе отличаются тем, что питаются непосредственно от сети переменного тока ~ 220 В.

Это достигается за счет того, что светодиод состоит из большого количества соединенных последовательно светоизлучающих кристаллов. Внешний вид светодиодов серии Acrіche показаны рис. 5.52, а—в.

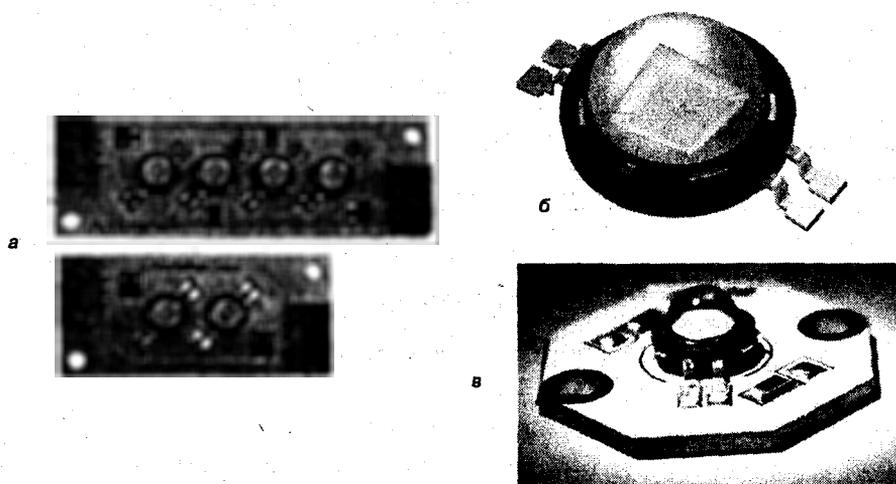


Рис. 5.52. Внешний вид светодиодов серии Acrіche:
а — модуль из двух и четырех светодиодов; б — светодиод Acrіche;
в — светодиод на промежуточном монтажном основании

ГАЛОГЕННЫЕ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ В СОВРЕМЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

6.1. Принцип работы ГЛН

Что такое галогенная лампа накаливания

Галогенные лампы накаливания (сокращенно ГЛН) часто называют просто «галогенными лампами». Из-за этого ошибочно считают, что в них используется какой-то новый способ получения света.



Примечание.

На самом деле эти лампы представляют собой всего лишь усовершенствованную разновидность обычных ламп накаливания, и свет в них также получается за счет накала тонкой вольфрамовой проволоки.

Впервые идея добавления в колбу лампы галогенных паров для уменьшения почернения стекла была запатентована еще в конце XIX века. Полезный эффект достигался за счет того, что пары галогенов способны соединяться с испаряющимися частицами вольфрама, а затем под действием высокой температуры распадаться, возвращая вольфрам на спираль.

Принцип действия

Вылетающие с раскаленной спирали атомы вольфрама, таким образом, не долетали до стенок колбы лампы (за счет чего и снижалось почернение), а возвращались обратно химическим путем. Это явление получило название галогенного цикла (рис. 6.1).

Использование галогенного цикла позволяет улучшить сразу два параметра лампы накаливания:

- ♦ **во-первых**, существенно замедляется испарение спирали, а значит, увеличивается срок службы лампы;
- ♦ **во-вторых**, можно заметно повысить температуру (а значит, и светотдачу) спирали, так как при ее росте увеличивается и эффективность галогенного цикла, а, значит, и контроль над испарением вольфрама.

На первый взгляд галогенная технология настолько безупречна, что подобная лампа получается практически вечной. К сожалению, это не совсем так. Дело в том, что атомы вольфрама, испарившиеся с одного участка спирали, возвращаются галогенами на другие. Рано или поздно в галогенной лампе начинаются те же процессы, что и в лампе накаливания: некоторый участок спирали становится заметно тоньше, его температура повышается, и испарение в этом месте еще более увеличивается. Это неизбежно приводит к перегоранию.

Практически применимая галогенная лампа была предложена лишь в 1959 году в США. Исследования заняли такое продолжительное время по той причине, что в первоначальном варианте предлагалось использовать для этой лампы стеклянную колбу.

Эксперименты показали, что при повышении температуры спирали галогены начинали активно взаимодействовать со стеклом, и колба разрушалась. Преодолеть этот барьер удалось за счет использования кварцевого стекла и вытекающих из этого технологических усложнений.

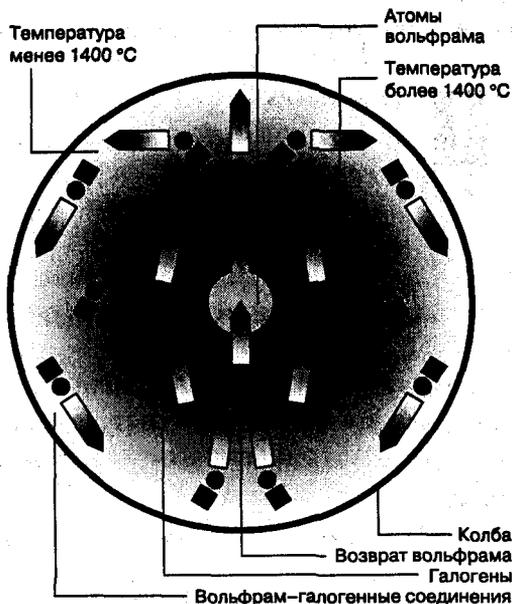


Рис. 6.1. Галогенный цикл

**Примечание.**

Эффективность галогенного цикла наиболее высока при небольшом объеме колбы лампы, и этим объясняется тот факт, что все галогенные лампы имеют сравнительно небольшие размеры.

6.2. Техническая информация

Преимущества галогенных ламп

Вследствие того, что галогенные лампы являются лишь модифицированным вариантом обычных ламп накаливания, их свойства во многом схожи. За счет использования галогенного цикла достигнуто два основных преимущества над вакуумными и газополненными лампами:

- ♦ увеличенная светоотдача;
- ♦ более длительный срок службы.

Кроме этого, за счет более высокой температуры спирали эти лампы дают свет чуть более холодного оттенка.

Световая отдача галогенных ламп накаливания примерно вдвое выше, чем у стандартных ламп той же мощности и составляет 20—25 лм/Вт. Ее значение увеличивается с увеличением мощности лампы и уменьшением ее номинального напряжения.

**Примечание.**

Яркость нити накала несколько повышена за счет ее увеличенной температуры и может достигать порядка 10^8 кд/м². Благодаря этому галогенные лампы идеально подходят для использования в прожекторах и линзовых оптических системах.

Яркость ламп, предназначенных для прямой замены матовых ламп накаливания, снижена за счет матирования колбы или путем нанесения на колбу внутреннего рассеивающего покрытия.

Основные параметры

Номинальное напряжение осветительных галогенных ламп делится на две группы — **низкое** (6, 12 или 24 В) или **высокое** (110—240 В).

Согласно этому делению, различают, соответственно, галогенные лампы низкого и сетевого напряжения.

Лампы специального назначения выпускаются в очень широком диапазоне рабочих напряжений (от 3 В и более).

Диапазон мощностей практически соответствует таковому у обычных ламп накаливания (от 1 до 5000—10000 Вт). По причине постепенного вытеснения тепловых ламп из мощного прожекторного освещения ведущие производители уже не предлагают продажу на рынке лампы мощнее 2000 Вт.

Рабочая температура и количество выделяемого тепла, являющегося основным продуктом тепловых излучателей, велики. В связи с этим галогенные лампы чувствительны к попаданию воды и потенциально пожароопасны. Кроме этого, непосредственно нагревающаяся часть лампы обычно расположена близко к месту подключения питающего напряжения. Это накладывает особые требования на материал, из которого изготавливают патроны и светильники для этих ламп. Характеристики ламп не зависят от температуры окружающей среды.

Типовые схемы включения

Схема включения галогенных ламп сетевого напряжения не отличается от таковой для обычных ламп накаливания. Лампы низкого напряжения питаются от специальных трансформаторов, причем из-за высоких токов (до 8 А на лампу) вместо прокладки единой низковольтной сети обычно используют несколько групп светильников с питающими их отдельными трансформаторами. Галогенные лампы не чувствительны к роду питающего тока (переменному или постоянному).

Регулирование светового потока сетевых ламп осуществляется любыми стандартными светорегуляторами аналогично лампам накаливания. Возможность и способ регулирования низковольтных ламп полностью определяется типом трансформатора.



Совет.

Необходимо отметить, что при снижении мощности галогенной лампы при помощи светорегуляторов нарушается работа галогенного цикла, и это может приводить к снижению срока службы нити накала. Чтобы этого не происходило, рекомендуется периодически включать лампу на полную мощность, обеспечивая таким образом восстановление материала спирали.

Габаритные размеры галогенных ламп

Габариты галогенных ламп низкого напряжения можно смело назвать минимальными для тепловых источников соответствующей мощности. Это достигается за счет максимального приближения стенок колбы к нити накала, требуемого для работы галогенного цикла. Что касается сетевых ламп, их размеры зависят от конструктивного исполнения, и в большинстве случаев длина лампы пропорциональна ее мощности. Габариты ламп, предназначенных для прямой замены ламп накаливания, не превышают размеров аналогов.

Срок службы

Срок службы галогенных ламп определяется моментом разрушения нити накала. Использование галогенного цикла позволяет либо значительно увеличить светоотдачу лампы по сравнению с лампами накаливания при сохранении того же срока службы (1000 ч), либо заметно продлить срок службы (до 4000—5000 ч) при тех же световых параметрах.



Примечание.

Как правило, производители выбирают компромиссный вариант: вдвое увеличенная светоотдача при вдвое большем сроке службы.

Стандартным сроком службы сетевых и многих низковольтных галогенных ламп принято считать период в 2000 ч. Этот же параметр у отдельных низковольтных моделей достигает 4000 ч. Механические воздействия на лампы в процессе эксплуатации (в особенности, для линейных ламп с большой длиной спирали), а также частые включения сокращают их срок службы.

За счет использования в галогенных лампах кварцевой колбы ультрафиолетовое излучение нити накала беспрепятственно выходит наружу, и требуются специальные меры по его блокированию. Эта проблема полностью решена у сетевых ламп, кварцевая колба которых помещена в стеклянную оболочку.

Частичная фильтрация ультрафиолета также достигается нанесением на колбу специального фильтрующего покрытия (такие лампы маркируются как UV-Stop, UV-Block и т. п.). В случае, если предпринятые в конструкции лампы меры недостаточны для обеспечения ее ультрафиолетовой безопасности, такая лампа должна устанавливаться только в све-

тильник с защитным стеклом, о чем делается соответствующая пометка в каталоге и на упаковке.

Цветовая температура галогенных ламп, как и реальная температура их нити накала, выше, чем у традиционных ламп накаливания. Она составляет 3000—3200 К.



Совет.

Этот параметр можно изменить за счет использования встроенных или внешних светофильтров, а также подбором толщины интерференционного отражающего слоя в зеркальных лампах.

По этой технологии выпускаются галогенные лампы низкого напряжения с $T_e = 4000$ К, а также цветные.

Индекс цветопередачи Ra галогенных ламп, как и у всех тепловых источников света, максимален и равен 100. За счет более высокой температуры накала (по сравнению с обычными лампами накаливания) свет галогенных ламп лучше воспроизводит сине-зеленые цвета.

Эксплуатационные особенности

Эксплуатационные особенности галогенных ламп, помимо уже описанной специфики, затрагивают два дополнительных аспекта.

Во-первых, лампы в одинарных кварцевых колбах не допускают прикосновения к ним голыми руками. Это объясняется способностью кварца кристаллизоваться вокруг инородных частиц, заносимых при таком контакте. Возникновение очагов кристаллизации приводит к нарушению однородной структуры стенки колбы, из-за чего колба трескается или взрывается.

Во-вторых, многие модели сетевых и специальных галогенных ламп не допускают произвольного положения горения и требуют специального размещения в светильнике. Например, линейные лампы имеют максимальный срок службы при горизонтальном положении. Это связано с тем, что громоздкая нить накала несимметрично закреплена внутри колбы, и при ее неправильной ориентации может провисать и выпадать из креплений, что ведет к перегоранию лампы.

На сегодняшний день галогенные лампы остаются единственным сравнительно экономичным и при этом недорогим видом источника света с «теплым» спектром. Этим объясняется их богатый ассортимент, имеющий тенденцию к расширению.

6.3. Обзор современных ГЛН с питанием 220 В

Линейные (софитные) ГЛН

Новые световые характеристики, достигнутые у галогенных ламп, позволили разработать для них особый ассортимент, лишь отчасти перекликающийся с выпускаемыми видами ламп накаливания.

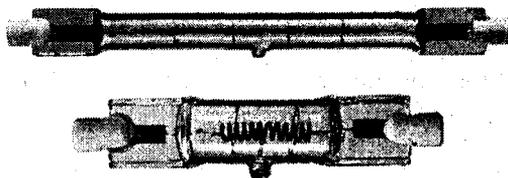


Рис. 6.2. Внешний вид линейных ГЛН

Изначально тепловые лампы с добавками галогенных соединений появились в виде линейных (софитных) моделей, нить накала в которых занимала всю длину колбы (рис. 6.2).

Подобная конструкция особенно удачна для параболических систем концентрации света. Первые модели линейных ламп имели высокую мощность (1000—20000 Вт) и предназначались для прожекторов и светильников наружного освещения. В дальнейшем наметилась тенденция к сдвигу модельного ряда в сторону меньших мощностей, и на сегодняшний день он включает номиналы 60, 100, 150, 250, 300, 500, 750, 1000, 1500 и 2000 Вт. Подавляющее большинство моделей снабжено двумя цоколями типа R7s.

Длина лампы, как правило, растет с увеличением мощности, но однозначного соответствия, тем не менее, нет. Модели небольшой и средней мощности выпускаются в трех типоразмерах, с полной длиной 78,3, 117,6 и 189,1 мм. При подборе ламп для замены в существующих светильниках важно обратить внимание на то, что лампы мощностью 150 и 200 Вт выпускаются как в первом, так и во втором перечисленном исполнении.

Несмотря на то, что многие изготовители объявляют о допустимости произвольного рабочего положения ламп этого вида (кроме мощных моделей), наилучшим положением горения для них является горизонтальное, с отклонениями не более $\pm 15^\circ$. Это связано с особенностями крепления нити накала внутри колбы.

Линейные лампы повышенной эффективности

Линейные лампы повышенной эффективности, строго говоря, являются лишь разновидностью обычных линейных ламп. Увеличение светотдачи достигается в них за счет специального внутреннего покрытия

колбы, отражающего **инфракрасные излучения**. Генерируемое нитью накала тепло, таким образом, возвращается обратно на нить и способствует ее дополнительному накаливанию.



Правило.

С ростом температуры нити накала светотдача тепловой лампы увеличивается.

Лампы повышенной эффективности имеют стандартную длину, но их мощность несколько снижена по сравнению со стандартными моделями (225—250 и 375—400 Вт вместо 300 и 500 Вт, соответственно).



Внимание.

Использование одинарной колбы из кварцевого стекла создает опасность, связанную с ультрафиолетовым излучением нити накала (линейные лампы предназначены только для закрытых светильников). Кроме этого, данный вид стекла чувствителен к прикосновению голых рук. Необходимые меры безопасности при эксплуатации и обращении с лампами отмечаются в каталогах и на упаковке соответствующими пиктограммами.

Одноцокольные галогенные лампы с резьбовыми цоколями

Двухцокольная конструкция линейных ламп исключает их использование в обычных светильниках для ламп накаливания. Для преодоления этого неудобства разработаны одноцокольные лампы с резьбовыми цоколями в стеклянных колбах с помещенной внутри линейной галогенной трубкой. Их ассортимент специально разработан для прямой замены ламп накаливания той же мощности. Как и все галогенные лампы, одноцокольные модели допускают включение в схемы со светорегуляторами, однако при этом ухудшаются их светотдача и срок службы. Из-за сравнительно небольших размеров внутренней трубки лампы не чувствительны к положению горения.

Вместо традиционной для ламп накаливания колбы типа А в лампах этого вида используют колбы различной формы в прозрачном, матовом или молочном исполнении (рис. 6.3).

Более яркая нить накала подчеркивает эффект искрящегося света при их установке в люстры с гранеными стеклянными и хрустальными

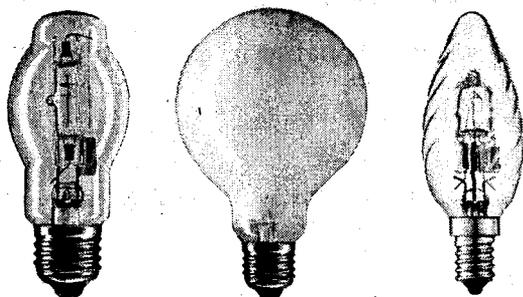


Рис. 6.3. Внешний вид различных ГЛН с резьбовым цоколем

элементами. В целом одноцокольные галогенные лампы подходят для установки в светильники рассеянного света, однако неэффективны с зеркальными отражателями. Это объясняется тем, что размеры и положение их нити накала не соответствуют таковым у традиционных ламп накаливания, на которые рассчитаны стандартные отражатели.

Капсульные галогенные лампы

Так называемые капсульные галогенные лампы получили свое название из-за соответствующей формы колбы (рис. 6.4).

Она представляет собой запаянный с обеих сторон отрезок трубки с односторонним вводом проводов. Внутри колбы находится компактная, обычно сложенная вдвое по сравнению с линейным вариантом спираль.



Внимание.

Капсульные лампы разработаны совместно с оптическими системами специальных прожекторов и поэтому, несмотря на по-прежнему прямое включение в сеть, не взаимозаменяемы с обычными лампами накаливания.

Как правило, лампы этого вида имеют байонетный цоколь В15d. В последнее время разработаны миниатюрные капсульные модели со штырьковыми цоколями, аналогичные по конструкции соответствующим низковольтным лампам.

Использование в колбах капсульных ламп специальных сортов стекла и дополнительных фильтрующих покрытий снимает проблему ультрафиолетовой опасности. Кроме этого, на базе галогенных капсул высокого напряжения некоторые производители создают и лампы в двойной колбе с резьбовыми цоколями, наподобие описанных выше.



Рис. 6.4. Внешний вид капсульных ГЛН

Зеркальные галогенные лампы

Преимущества высокой яркости спирали для создания направленного света в полной мере реализованы в зеркальных галогенных лампах, представляющих собой линейную или капсульную галогенную лампу, помещенную в колбу с отражателем. Наибольшее распространение получили лампы в прессованных колбах PAR, хотя встречаются и традиционные варианты (колба типа R).

Первоначально для зеркальных галогенных ламп использовали традиционные для ламп накаливания колбы PAR38, PAR56 и PAR64, однако удачность такого сочетания привела к дополнительной разработке колб PAR30, PAR20 и даже PAR16 (рис. 6.5).

Галогенные лампы этих серий успешно заменяют лампы накаливания в колбах R95, R63 и R50 с соответствующими резьбовыми цоколями, причем минимальный угол излучения составляет уже не 30, а всего 10°. Существуют и другие, несколько менее распространенные модификации прессованных колб галогенных ламп.

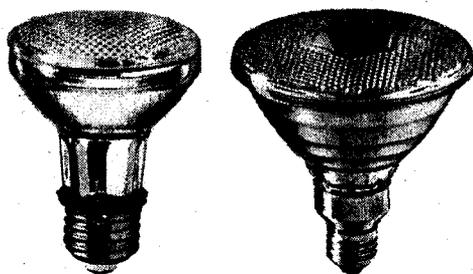


Рис. 6.5. Внешний вид зеркальных ГЛН с колбами типа PAR



Примечание.

Важно обратить внимание на тот факт, что колба PAR30 имеет две модификации, различающиеся общей длиной корпуса (90,5 и 119 мм). В зависимости от типа светильника, они могут оказаться не взаимозаменяемыми и при выборе ламп для замены необходимо учитывать размеры конкретных типов. В настоящее время длина 90,5 мм де-факто является стандартом для колбы PAR30.

Тенденция общей миниатюризации галогенных ламп применительно к зеркальным лампам проявилась в создании миниатюрных моделей диаметром 51 мм со штырьково-поворотным цоколем GU10 и GZ10 (рис. 6.6).

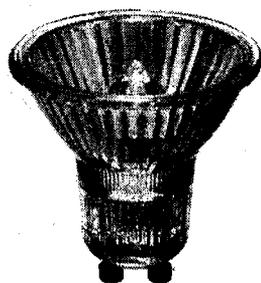


Рис. 6.6. Внешний вид ГЛН со штырьково-поворотным цоколем GU10

6.4. Низковольтные галогенные лампы

Для чего нужен переход к низкому напряжению питания

Переход к низкому (до 24 В) напряжению питания позволяет заметно снизить сопротивление нити накала лампы для достижения той же электрической мощности. Длина нити уменьшается, а значит, она в меньшей степени задерживает собственное излучение. За счет этого эффекта лампы накаливания, рассчитанные на низкие напряжения, имеют более высокую светоотдачу, чем стандартные сетевые аналоги.

Сказанное в полной мере относится и к галогенным лампам. Уже в 1990-х годах появились первые образцы так называемых **низковольтных моделей**, или **галогенных ламп низкого напряжения**. Аналогично устроенные лампы выпускались и раньше, однако в основном предназначались для кинопроекции и других специальных применений.

Стандартным низким напряжением для питания галогенных ламп является значение 12 В переменного тока, несколько реже используется постоянный ток и/или номиналы 6 и 24 В. Для получения таких напряжений в обязательном порядке используют **специальные трансформаторы** (на сленге называемые «галогенными»).

Низковольтные капсульные лампы

Капсульные лампы по размерам не больше обычных ламп для карманных фонарей, но имеют мощность от 5 до 100 Вт. По конструкции они аналогичны капсульным лампам сетевого напряжения, но обычно имеют прямую, а не сложенную вдвое, спираль накала. Лампы этого вида оборудуются штырьковыми цоколями G4 и GY6.35 (рис. 6.7).

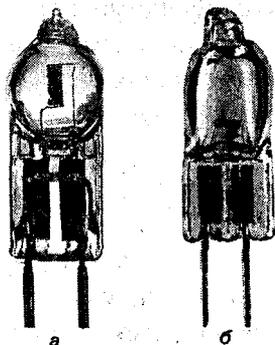


Рис. 6.7. Внешний вид капсульных ГЛН:
а — с осевым расположением нити накаливания; б — с горизонтальным расположением нити накаливания

Из-за небольшого светового потока основное предназначение ламп мощностью 5 и 10 Вт — **декоративное освещение**. Они идеально подходят для создания ярких световых точек, например, с целью имитации звездного неба. Наравне с этим, более мощные лампы могут использоваться и в светильниках общего освещения.

Кроме этого, их компактные размеры и высокая яркость спирали

позволили создать небольшие прожектора для внутреннего освещения (на профессиональном сленге называемые «слотами» — источниками световых пятен, от слова spotlights).

Мини-прожектор для капсульной лампы традиционно содержит зеркальный отражатель с помещенным в его центр штырьковым патроном. В зависимости от свойств отражателя, для него могут требоваться лампы с осевым либо горизонтальным (рис. 6.7) расположением спирали.



Внимание.

Неправильная замена лампы может заметно нарушить светораспределение такого прожектора.

Технология нанесения на внутреннюю сторону колбы отражающего инфракрасное излучение покрытия, успешно примененная в экономичных моделях линейных ламп сетевого напряжения, применяется и к низковольтным капсульным моделям. Такие лампы имеют повышенную (до 25 лм/Вт) светоотдачу.

Кварцевое стекло, из которого изготовлена колба капсульных ламп, может определять дополнительные требования к обращению с ними и к защите от ультрафиолета. В этом случае в каталоге и на упаковке лампы приводится соответствующая маркировка.

Любая система, включающая отдельные источник света и зеркальный отражатель, требует тщательной фокусировки лампы (помещения ее в точку фокуса отражателя) после ее установки. В противном случае нарушаются угол излучения и светораспределение всей системы.

Вместе с тем, подобная операция достаточно сложна для рядового пользователя, а попытка снабжать лампы фокусирующими цоколями неизбежно подняла бы их стоимость. Решить эту проблему удалось путем разработки зеркальных галогенных ламп, представляющих собой уже собранные на заводе-изготовителе комплекты «лампа-отражатель».

Низковольтные лампы с интерференционными отражателями

Одним из вариантов зеркальных ламп являются лампы с интерференционными отражателями, представляющие собой капсулы низкого напряжения, помещенные внутрь стеклянных параболических корпусов (рис. 6.8).

Их название происходит от явления **интерференции**, за счет которого нанесенная на стекло тонкая металлическая пленка отражает лишь

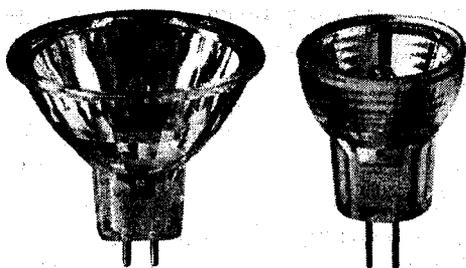


Рис. 6.8. Внешний вид ГЛН с интерференционными отражателями

излучения определенных длин волн. Толщина пленки подобрана таким образом, чтобы инфракрасное (тепловое) излучение нити накала беспрепятственно проходило сквозь нее наружу, а видимый свет отражался в направлении оси лампы.

Иногда лампы этого типа некорректно называют «дихроичными» (от английского названия dichroic lamps). Сквозь отражатель проходит и некоторое количество видимого света, который приобретает цветные оттенки и выгодно используется в функционально-декоративных светильниках.

Отражатель зеркальных галогенных ламп может быть открыт либо иметь защитное переднее стекло. По международной классификации колба такого типа относится к типу R, однако, традиционно ее обозначают буквами MR (mirror reflector). Эта колба выпускается в двух вариантах, с диаметром отражателя 51 и 35 мм (типы MR16 и MR11) и типами цоколя GU5.3/GU4, соответственно.

Благодаря тому, что интерференционный отражатель концентрирует лишь свет, но не тепло, излучаемое лампой, модели этой разновидности называют также лампами холодного света. Этот термин, однако, не означает, что лампа совсем не излучает тепла. Тепловое излучение нити накала, по-прежнему составляющее более 90 % мощности лампы, более или менее равномерно рассеивается по всем направлениям вокруг нее.

Светильник и ламповый патрон при этом испытывают повышенную тепловую нагрузку, поэтому возможность применения таких ламп должна оговариваться особо. В каталогах лампы холодного света маркируются специальными символами.

Зеркальная лампа, в отличие от светильника с отражателем, является неразборной конструкцией. Пользователь не способен изменить ее угол излучения, поэтому выпускается большой ассортимент моделей с определенными светораспределениями. Условно все они могут быть разделены на три основные группы:

- ♦ лампы с узкими (8—12°) световыми пучками;
- ♦ лампы со средними (18—24°) световыми пучками;
- ♦ лампы с широкими (36—60°) световыми пучками.

Наряду с прямым указанием угла излучения в градусах, в светотехнической практике приняты его более простые, буквенные обозначения:

- ♦ NSP или SSP (narrow spot или super spot — сверхузкий) — менее 8°;
- ♦ SP (spot — узкий) — 8—12°;
- ♦ FL (flood — средний) — 24—30°;
- ♦ WFL (wideflood — широкий) — 36—38°;
- ♦ VWFL (very wideflood — очень широкий) — 60° и более.

Слово flood указывает на применимость данного светораспределения для заливающего освещения. Лампы со всеми вариантами светораспределения выпускаются мощностью 20, 35, 50 и (реже) 100 Вт.



Правило.

Чем уже световой пучок лампы одной и той же мощности, тем выше ее осевая сила света, так как световой поток остается постоянным.

Исходя из этого, узкое светораспределение наиболее подходит для создания небольших ярких пятен света либо подсвета объектов с больших расстояний. Среднее светораспределение пригодно для создания сравнительно крупных световых акцентов, а широкое светораспределение — для общего верхнего освещения.

Переднее стекло ламп с шириной пучка 60° покрыто специальными стеклянными напылениями, за счет чего эти лампы дают практически рассеянный свет без четких границ светового пятна.

Возможность управления световыми свойствами лампы путем изменения толщины интерференционного покрытия (при этом меняется набор отражаемых длин волн) используется в модификациях с повышенной до 4000 К цветовой температурой и цветных моделях. Окрашенный свет может достигаться и за счет использования в лампах передних стекол с фильтрующими свойствами. Как правило, использование двойной колбы и специальных покрытий исключает ультрафиолет из спектра зеркальных ламп. Однако некоторые модели, в первую очередь, без защитного стекла, могут все же давать вредные коротковолновые излучения.



Примечание.

Кроме того, эти же модели не защищены от случайного прикосновения рук к внутренней кварцевой капсуле. Для предупреждения о необходимых мерах предосторожности, как и во всех ранее описанных случаях, используется специальная маркировка.

Низковольтные зеркальные лампы с алюминиевыми отражателями

Ненаправленное тепловое излучение ламп холодного света является преимуществом при освещении чувствительных к нагреву материалов и недостатком с точки зрения тяжелого теплового режима светильников. Некоторые типы подвесных потолков не допускают использования этих ламп из-за возможного перегрева запотолочного пространства. Для подобных применений выпускаются зеркальные лампы с алюминиевыми отражателями нескольких разновидностей.

Первая разновидность ламп представляет собой модельный ряд в стандартных колбах MR11/MR16, стеклянные отражатели которых покрыты слоем алюминия вместо интерференционной пленки. Ряд мощностей, группы светораспределения и внешний вид этих ламп не отличаются от ранее описанных моделей с интерференционными отражателями.

Их важным отличием является лишь концентрация тепла вместе со световым пучком, что не позволяет использовать данные лампы для освещения с небольших расстояний чувствительных к нагреву материалов. Видимый свет не проходит сквозь алюминиевый отражатель, поэтому задняя часть этих ламп выглядит абсолютно темной.

Наилучшее применение для них — так называемые «точечные» светильники общего освещения, встроенные в подвесной потолок, иногда неофициально называемые даун-лайтами (от английского термина downlight «светящие вниз»).

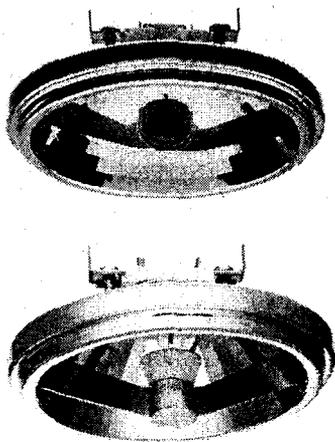


Рис. 6.9. Внешний вид ГЛН серии 111

К лампам второй разновидности относится разработанная в конце 1990-х годов так называемая серия 111. Входящие в нее модели состоят из галогенной капсулы, установленной в открытом металлическом отражателе диаметром 111 мм (рис. 6.9).

Конструкция такой лампы аналогична устройству некоторых автомобильных фар, прямой свет лампы в которых устраняется затеняющей металлической крышкой.

Зеркальные лампы диаметром 111 мм выпускаются мощностью 35, 50, 75 и 100 Вт и предназначены для установки в

основном в открытые светильники, ведь их ультрафиолетовое излучение незначительно.

Подчеркнуто функциональный и вместе с тем эстетичный внешний вид является преимуществом для их использования в стилизованных под «высокие технологии» (hi-tech) декоративно-функциональных светильниках. Для улучшения внешнего вида и лучшего сочетания с хромированными элементами светильников корпус этих ламп имеет полированную блестящую окантовку.

Третья, менее распространенная группа ламп с алюминиевыми отражателями, состоит из моделей с цоколем B15d (BA 15d). Модели этой группы выпускаются лишь некоторыми изготовителями и не стандартизованы. Их применение возможно в специально рассчитанных на конкретный тип лампы светильниках.

В завершение данного раздела стоит напомнить о том, что здесь были рассмотрены лишь наиболее распространенные и выпускаемые многими фирмами виды галогенных ламп. Помимо них, существует огромный ассортимент моделей, специфичных по отношению к производителям, а также предназначенных для специального использования (например, для кинофотоаппаратуры, оптических приборов, установок инфракрасного обогрева и т. д.).



Примечание.

Более подробно об ассортименте выпускаемых ГЛН можно узнать, обратившись к фирменным каталогам, находящимся на диске.

6.5. Трансформаторы и электроника для ГЛН

Особенности включения низковольтных галогенных ламп



Внимание.

Галогенные лампы низкого напряжения (6/12 В) должны включаться только в схемы с соответствующими трансформаторами. Последовательное включение и другие варианты не допускаются!!!

Традиционные (электромагнитные) трансформаторы предельно просты в устройстве и конструкции. Они ничем не отличаются от при-



Рис. 6.10. Внешний вид Ш-образного трансформатора

нятых в радиоэлектронной практике аналогов. Трансформаторы могут быть как Ш-образные, так и тороидальные.

Из-за больших рабочих токов ламп сечение провода вторичной обмотки достигает 4 мм^2 . В корпусе обычно предусмотрены и предохранители различных типов, о чем пользователя информирует соответствующая маркировка.

В отличие от пускорегулирующих аппаратов, типы которых должны строго соответствовать типам подключаемых ламп, принцип подключения галогенных ламп намного проще.



Правило.

Обязательное условие состоит лишь в том, чтобы суммарная мощность всех ламп не превышала номинальной мощности трансформатора. Например, к трансформатору мощностью 60 Вт можно подключить 12 ламп по 5 Вт, 6 ламп по 10 Вт, 3 лампы по 20 Вт или по одной лампе 35 или 50 Вт.



Рис. 6.11. Внешний вид тороидального трансформатора



Примечание.

Традиционные трансформаторы могут подключаться к сети через светорегуляторы для стандартных ламп накаливания. Исключение составляют варианты схем, в которых осуществляется выпрямление тока, так как для них первичная обмотка трансформатора фактически представляет собой короткое замыкание.

Преимущества электронных трансформаторов

Существенным недостатком электромагнитных трансформаторов является их большая масса, которая примерно пропорциональна их мощности. Например, трансформатор мощностью 300 Вт может весить до 10 кг! При большом количестве галогенных ламп общий вес такого оборудования может превысить все разумные пределы.

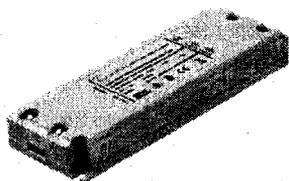


Рис. 6.12. Внешний вид электронного трансформатора прямоугольной формы для питания ГЛН

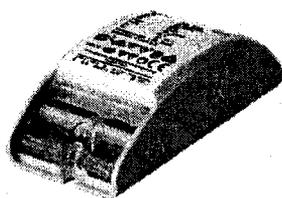


Рис. 6.13. Внешний вид электронного трансформатора округлой формы для питания ГЛН

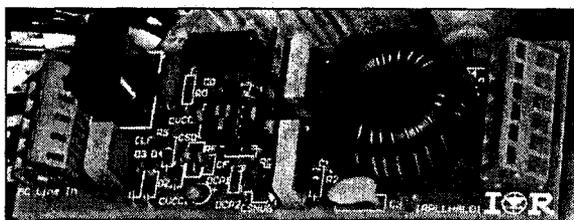


Рис. 6.14. Внешний вид электронного трансформатора на IR2161

Проблема больших размеров и веса решена в так называемых *электронных трансформаторах*, которые по более строгой классификации являются *электронными блоками питания*. Эти устройства содержат преобразователь, увеличивающий частоту питающего напряжения до 30000—10000 Гц, за счет чего размер трансформатора как такового может быть существенно уменьшен.

Важно заметить, что сечение провода вторичной обмотки и в этом случае должно быть велико. Преобразователь и соответствующий ему малогабаритный трансформатор (диаметром не более 20 мм) помещаются в общий, обычно пластмассовый, корпус (рис. 6.12, рис. 6.13).

Масса электронных трансформаторов невелика, а их размер незначительно увеличивается с увеличением мощности. Кроме этого, они выделяют намного меньше тепла и не издают звука при работе. Благодаря этим особенностям, они являются единственно целесообразным вариантом для включения ламп общей мощностью 100 Вт и более. В настоящее время разработаны модели мощностью до 1500 Вт.

Один из вариантов электронного трансформатора, реализованного на специализированной микросхеме IR2161, показан на рис. 6.14 (без пластикового корпуса). Принципиальная электрическая схема этого устройства показана на рис. 6.15. Номиналы и тип используемых элементов приведены в табл. 6.1.

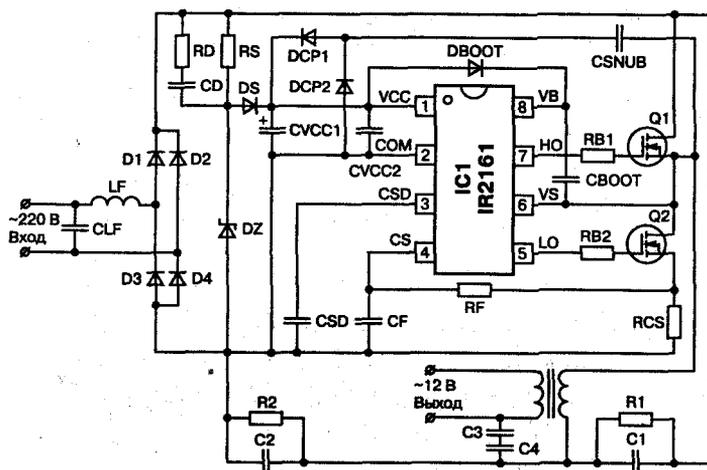


Рис. 6.15. Принципиальная схема электронного трансформатора на ИМС IR2161

Номиналы и типы используемых в схеме (рис. 6.15) элементов

Таблица 6.1

№ п/п	Обозначение на схеме	Тип элемента	Параметры, Номинал	Название элемента	Кол-во
1	C1, C2	Конденсатор	100 нФ, 400 В	2222 383 00104	2
2	CLF	Конденсатор	100 нФ, 275 В, X2	2222 338 26104	1
3	C3, C4	Конденсатор	1,5 нФ, 400 В	ECK-D3D152KBP	2
4	CF	Конденсатор	1 нФ, 50 В	K102J15C0GF5TH5	1
5	CVCC2, CSD, CB	Конденсатор	100 нФ, 25 В	C317C104M5U5CA	3
6	CD	Конденсатор	330 нФ, 400 В	ECQ-E4334KF	1
7	CVCC1	Конденсатор	22 мкФ, 50 В, Radial	T350F226K016AS	1
8	CSNUB	Конденсатор	150 нФ, 500 В, Ceramic	D151K20Y5PL63L6	1
9	D1—D4, DS	Диод	1000 В, 1 А	1N4007-T	5
10	DB	Диод	600 В, 1 А	1N4937-T	1
11	D5, D6	Диод	600 В, 1 А	1N4937-T	-
12	DCP1, DCP2	Диод	75 В, 500 мВт	1N4148-T	2
13	DZ	Стабилитрон	16 В, 1 Вт	1N4745A-T	2
14	LF	Дроссель	Vertical E20 Iron powder	094094912000	1
15	T1	Трансформатор	78T, 8T, 12 В out 190, 763	190190763000	1
16	R1, R2	Резистор	470 кОм, 1 Вт	5073NW470K0J12AFX	2
17	RS	Резистор	220 кОм, 1 Вт	5073NW220K0J12AFX	1
18	RD	Резистор	270 Ом, 3 Вт	2322 329 03271BC	1
19	RB1, RB2	Резистор	22 Ом, 1206, SMD	ERJ-8GEYJ220V	2
19	RCS	Резистор	0,33 Ом, 0,5 Вт	ALSR1F-.33R-ND	1
20	RF	Резистор	1 кОм, 1 Вт	5073NW1K000J12AFX	1
21	In Socket	IC	Controller	IR2161	1
22	IC1	IC Socket	8 Pin DIP	2-641260-1	1
23	Q1, Q2	Транзистор полевой FETs	400 В	IRF740	2
24	P1	Разъем	5 Way	236-105	1
25	P2	Разъем	6 Way	236-106	1

Расчет электронного трансформатора под различные мощности



Примечание.

*Расчитать электронный трансформатор под различные мощности можно с помощью уже известной нам программы автоматического проектирования **Ballast Designer** (имеется на диске).*

В некоторых случаях, когда электронный трансформатор удален (более 1 м) от ГЛН, а мощность лампы (или группы ламп) значительна, могут возникнуть радиопомехи, затрудняющие прием теле- радио- каналов или мешающие ИК и радио пультам управления. В этой ситуации применяют электронные трансформаторы (блоки питания ГЛН) с выпрямленным и сглаженным напряжением (постоянное напряжение с малыми пульсациями).

Такие блоки питания можно реализовать, например, на известной микросхеме VIPER100-E фирмы STMicroelectronics, <http://www.st.com>.



Примечание.

*Автоматически спроектировать блок питания можно с помощью специальной программы **VIPer Design Software v2.24** (имеется на диске).*

На данный момент широко используются для подобных блоков питания микросхемы фирмы Power Integrations, Inc серии *TOPSwitch* и *TOPSwitch@-GX*: TOP227Y, TOP250Y, TOP246R, TOP249Y, техническую поддержку можно найти по адресу:

http://www.powerint.ru/SiteFiles/ARTICLES_ARCHIVE.htm

Блок питания на микросхеме TDA4605

На рис. 6.16 показана схема БП, реализованная на доступной микросхеме TDA4605. Данная микросхема имеет отечественные аналоги К1033ЕУ5, КР1087ЕУ1.

Трансформатор Т1 намотан на сердечнике Ш16×20 из феррита 2500НМС1. Величина немагнитного зазора 0,12 мм (с учетом двойного зазора, т. е. две прокладки по 0,12 мм). Число витков первичной обмотки $W_1 = 64$, диаметр провода 0,25 мм. Число витков вторичной обмотки $W_2 = 3$, диаметр провода (пучек из пяти жил 0,6 мм). Число витков обмотки обратной связи $W_3 = 3$, диаметр провода 0,25 мм.

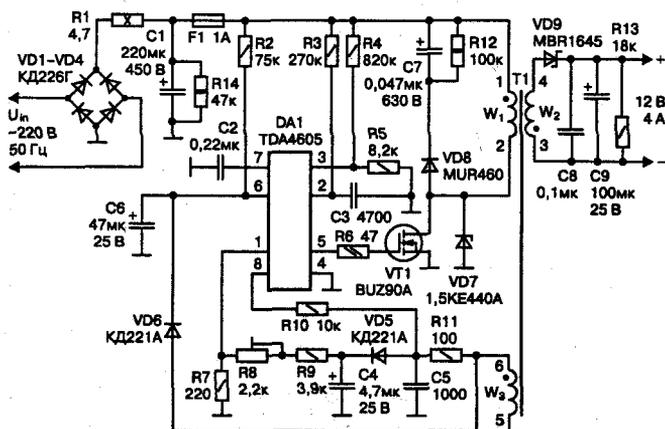


Рис. 6.16. Принципиальная схема на БП для ГЛН на TDA4605



Примечание.

Большинство электронных трансформаторов имеют ограничения не только на максимальную, но и на минимальную суммарную мощность подключенных ламп. Это связано с особенностями работы внутренних преобразователей. Диапазон допустимых мощностей указывается в каталоге и на корпусе устройства, например, 35—105 Вт. Данное ограничение, тем не менее, не означает опасности выхода трансформатора из строя при отсутствии нагрузки (например, при перегорании всех ламп). Из него следует лишь то, что нормальная работа ламп мощностью менее допустимой не гарантируется.

Для удобства подключения ламп электронные трансформаторы обычно имеют несколько пар выходных зажимов. Регулирование мощности ламп, в зависимости от конкретной схемной реализации, осуществляется одним из двух способов:

- ♦ включением трансформатора с традиционным светорегулятором;
- ♦ путем подачи на его отдельный управляющий вход специального сигнала (как в случае с регулируемыми электронными балластами).

Данная возможность может и не предусматриваться совсем. При подключении электронного трансформатора к светорегулятору традиционной конструкции важно убедиться, что последний допускает работу

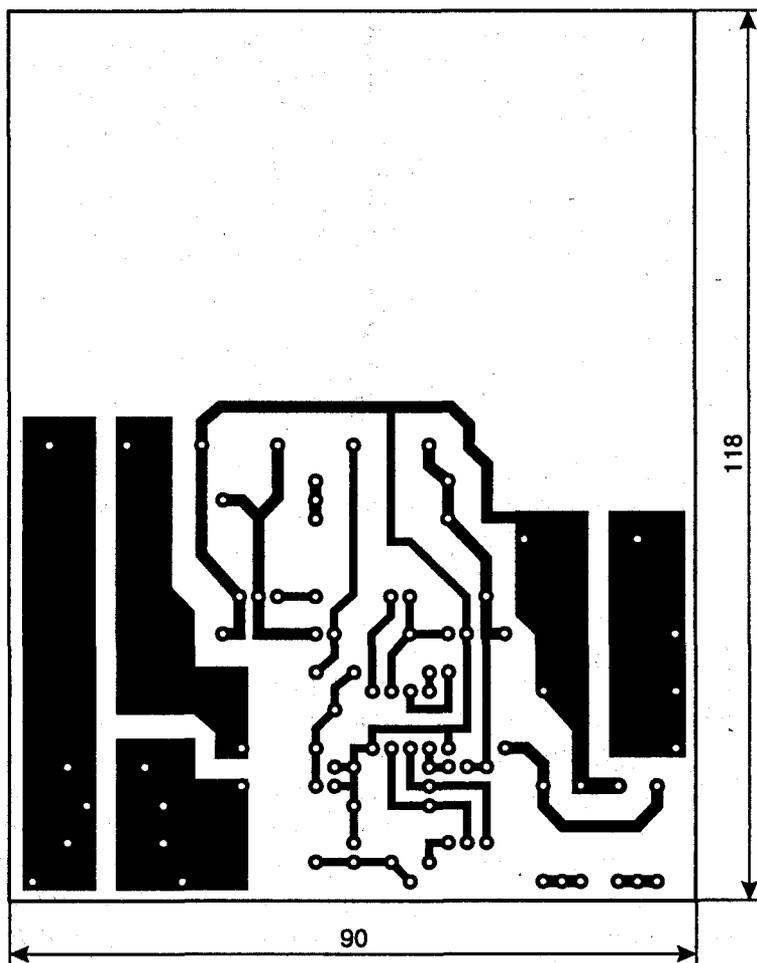


Рис. 6.17. Печатная плата устройства

с нагрузками емкостного характера. Подобные сведения содержатся в документации на светорегулятор.



Примечание.

Следует отметить, что вторичное напряжение на их обмотках намеренно несколько снижено по сравнению с номинальным, и обычно составляет 11,2—11,6 В. Такой прием несколько снижает световой поток и светоотдачу ламп, однако продлевает их срок службы.

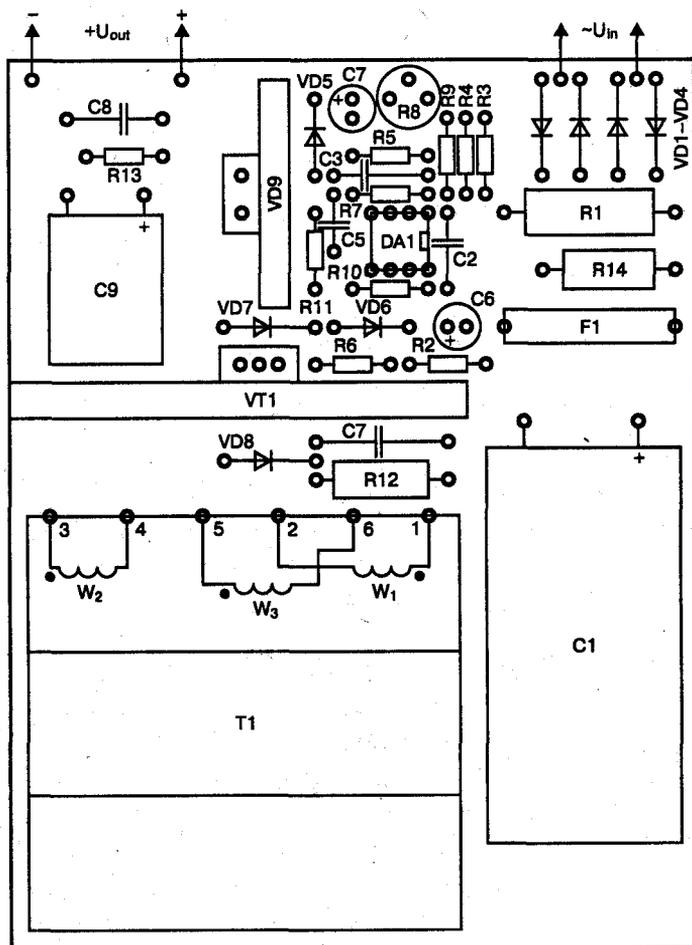


Рис. 6.18. Печатная плата, вид со стороны деталей

6.6. Продление срока службы и регулировка яркости свечения

А для продления срока службы высоковольтных ГЛН, питающихся непосредственно от сети 220 В, поможет простое устройство на специализированной микросхеме фазового регулятора К1182ПМ1Р (КР1182ПМ1).

Дело в том, что в холодном состоянии сопротивление спирали лампы в 10 раз меньше, чем в разогретом. Поэтому пусковой ток ГЛН мощно-

стью, например, 100 Вт может достигать 7 А. После разогрева спирали, который происходит за несколько полупериодов сетевого напряжения, ток уменьшается до рабочего.



Примечание.

Именно этот момент пуска является порой губительным для лампочки. Со временем спираль лампы изнашивается, утончается, приобретает неоднородности в своей структуре. Спираль становится более чувствительной к подобным перегрузкам при включении, соответственно, увеличивается вероятность ее перегорания.



Совет.

Облегчить условия пуска холодной спирали ГЛН и тем самым снизить вероятность ее перегорания можно. Для этого надо подавать напряжение питания на лампу не с полной, а с постепенно увеличивающейся амплитудой.

В результате к моменту подачи полной амплитуды спираль лампы успеет полностью разогреться и перейти в нормальный режим работы.

Микросхема фазового регулятора К1182ПМ1Р (КР1182ПМ1) предназначена для плавного включения/выключения ламп накаливания или для регулировки яркости их свечения.

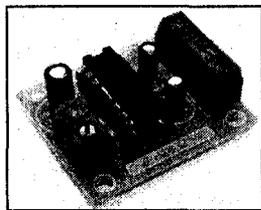


Рис. 6.19. Внешний вид устройства плавного зажигания ГЛН

Максимальная рабочая мощность — 150 Вт. Значительно увеличить мощность подключаемой нагрузки можно, применив внешний симистор. ИМС выполнена в стандартном корпусе DIP 16.

Внешний вид устройства показан на рис. 6.19.

ИМС К1182ПМ1Р (рис. 6.20, рис. 6.21) позволяет путем постепенного увеличения фазового угла включения увеличивать подаваемое на лампу напряжение. При этом спираль успевает разогреться до максимальной температуры к моменту подачи полного напряжения. В результате снижается вероятность выхода спирали лампы из строя.

Выходы 3 и 6 ИМС DA1 предназначены для подключения цепи управления ($C3=100$ мкФ 16 В, $R1=3,1$ кОм, SW1) фазовым регулятором. $C1 = C2 = 1$ мкФ 10 В. Время плавного включения лампы зависит от емкости конденсатора $C3$, а время плавного выключения — от сопро-

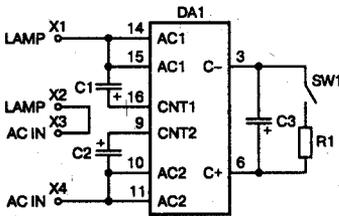


Рис. 6.20. Типовая схема включения

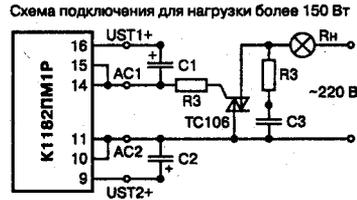


Рис. 6.21. Принципиальные схемы устройств регулировки яркости

тивления резистора R1. Номиналы этих элементов можно выбрать самостоятельно. С номиналами, приведенными на схеме, время включения и выключения составляет примерно 1 с.

ОСВЕЩЕНИЕ «УМНОГО ДОМА»

Основные понятия и определения

Достижения в схемотехнике ЭПРА для различных источников света позволили реализовать идею освещения «Умного дома», т. е. создать системы управления освещением (СУО), решающие две важнейшие задачи: повышение комфортности освещения и экономии электроэнергии. Можно сказать, что автоматизированные СУО — это наиболее полное и яркое проявление внедрения достижений современной электроники в светотехнику.

Хорошая СУО должна выполнять следующие функции:

- ♦ обеспечивать постоянство освещенности в любом месте дома;
- ♦ обеспечивать возможность легко и просто устанавливать в этих местах требуемую освещенность;
- ♦ учитывать присутствие людей в освещаемых помещениях;
- ♦ учитывать время суток, времена года, дни недели.

«Сердцем» СУО являются регулируемые ЭПРА, трансформаторы и конверторы.

Способы управления ими могут быть разными:

- ♦ цифровые;
- ♦ аналоговые;
- ♦ потенциометрические;
- ♦ непосредственно от датчиков.

Чтобы аппараты разных фирм «понимали» команды датчиков других фирм, по инициативе крупнейших производителей PHILIPS и OSRAM были разработаны:

- ♦ общеевропейские протоколы (стандарты) DALI (цифровой адресный интерфейс светорегулирования);
- ♦ общеевропейские протоколы (стандарты) DMX.

Эти протоколы позволяют:

- ♦ **во-первых**, адресно управлять светильниками;
- ♦ **во-вторых**, заранее программировать режимы их работы;
- ♦ **в-третьих**, вызывать эти запрограммированные режимы;
- ♦ **в-четвертых**, получать обратную связь, то есть сообщения о состоянии светильников, неисправностях в них и т. п.

Кроме управления от различных датчиков и программаторов, во всех СУО предусматривается и **ручное управление**, которое затем поддерживается автоматически. Ручное управление, как правило, осуществляется дистанционно с помощью пультов, аналогичных известным всем пультам управления телевизорами и другой бытовой техникой. Пульты передают управляющие команды в **двух вариантах**:

- ♦ или в ИК-диапазоне;
- ♦ или по радиоканалу.

В настоящее время многие фирмы выпускают СУО в готовом виде **набора регулируемых ЭПРА** для различных источников света, датчики освещенности, присутствия и времени, преобразователи сигналов (при необходимости), программаторы и т. п.

Применение СУО позволяет значительно повышать комфортность освещения, так как человек устанавливает сам требуемый ему в конкретной ситуации уровень освещенности. Это очень положительно сказывается и на производительности труда, и на качестве работы, и на чувстве бодрости.



Примечание.

Главное достоинство СУО даже не в этом — применение таких систем дает экономию электроэнергии до 80 % по сравнению с нерегулируемыми системами освещения.

СУО создаются не только для **внутреннего**, но и для **наружного освещения**. В последнем довольно широко используются установки уличного освещения с включением и отключением светильников по командам от датчиков естественной освещенности и с временным управлением.

За рубежом СУО комплексно или в виде отдельных узлов производятся многими фирмами. Ведущими в этом направлении, как и в других ветвях светотехники, являются PHILIPS, OSRAM, HELVAR, TridonicAtco.



Примечание.

На территории бывшего СССР полноценные СУО производятся только в Белоруссии (предприятие ЭНЭФ, г. Молодечно), причем и для внутренних, и для наружных светильников.

Блок-схема СУО

Рассмотрим работу СУО более подробно. Принципиально все СУО построены по одинаковой блок-схеме (рис. 7.1). Они содержат регуляторы светового потока, регулируемые источники света и датчики суммарной освещенности, присутствия и реального времени, иногда — программаторы, в которых заранее устанавливается программа изменения освещенности на определенный период (рабочий день, неделю, год).

Основой всех СУО служат регулируемые электронные аппараты включения источников света:

- ♦ ЭПРА для линейных или компактных люминесцентных ламп;
- ♦ электронные трансформаторы или фазовые регуляторы для ламп накаливания;
- ♦ конвертеры для светодиодов.

Достижения современной электроники позволили создать полностью автоматизированные СУО, обеспечивающие наиболее комфортные условия освещения и одновременно значительную экономию электроэнергии.

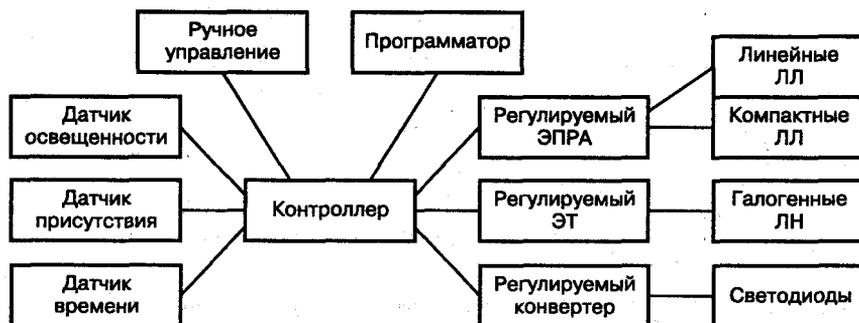


Рис. 7.1. Блок-схема автоматизированной системы управления освещением (СУО)

Автоматизированная СУО luxCONTROL

Система luxCONTROL разработана и серийно выпускается австрийской фирмой TridonicAtco, <http://www.tridonicatco.com>.

Система содержит набор блоков и модулей, управляемых цифровыми сигналами по одному из стандартов — DSI (modularDIM) или DALI (comfortDIM), клавишными выключателями SWITCH, а также датчиками SMART.

Набор блоков modularDIM обеспечивает дистанционное включение/выключение светильников, плавное регулирование их светового потока. Блоки, входящие в этот набор, могут управляться только цифровыми сигналами по стандарту DSI (применяемому исключительно фирмой TridonicAtco). В состав набора входят блоки modularDIM BASIC (рис. 7.2), modularDIM SC, modularDIM DM, modularDIM LC, а также датчики SMART.

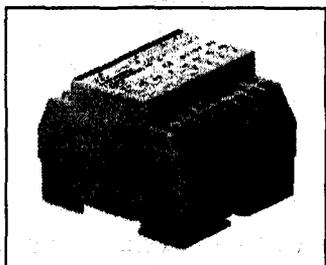


Рис. 7.2. Блок-контроллер modularDIM BASIC

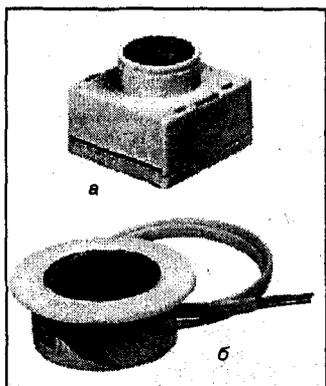


Рис. 7.3. Датчики smartDIM Sensor 1 (а) и smartDIM Sensor (б)

Набор позволяет управлять одной, двумя или тремя группами (в каждой до 100 светильников) с люминесцентными лампами и соответствующими ЭПРА, а также с лампами накаливания и электронными трансформаторами или фазовыми регуляторами.

Контроллер modularDIM SC позволяет создавать до четырех режимов управления освещением («световых сценариев»). Для подключения датчиков (рис. 7.3) суммарной (естественной и искусственной) освещенности или датчиков присутствия служит блок modularDIM DM. Датчики освещенности SMART LS или универсальные датчики DSI-SMART, могут встраиваться в потолки или непосредственно в светильники. Датчики позволяют осуществлять дистанционное управление светильниками с помощью инфракрасного пульта управления DSI-SMART Controller или программатора DSI-SMART Programmer. Блоки серии modularDIM могут монтироваться в стандартных распределительных шкафах, аналогично широко распространенным устройствам защитного отключения (УЗО).

Набор блоков **comfortDIM** (рис. 7.4) работает по командам цифровых сигналов в общеевропейском стандарте **DALI**. В состав этого набора входят:

- ♦ блоки питания **DALI PS (PS 1)**;
- ♦ контроллеры групп **DALI GC** (рис. 7.5);
- ♦ контроллеры режимов **DALI SC**;
- ♦ реле **DALI RM**;
- ♦ датчики освещенности и присутствия **DALI RD** с пультом дистанционного управления.

Этот набор позволяет управлять 16-ю группами светильников, в каждой из которых может быть до 4-х светильников, и создавать 4 режима освещения («световых сценария»). Оба контроллера отличаются очень малыми размерами и могут встраиваться в коробки стандартных клавишных выключателей.

Один контроллер групп **DALI GC** позволяет включать, выключать и регулировать две группы светильников. Для управления большим числом групп (до 16) можно использовать несколько таких модулей.

Модуль **DALI SC** позволяет заранее устанавливать и затем вызывать до четырех «световых сцен» (режимов освещения, т. е. сочетаний светильников, каждый из которых «настроен» на определенную яркость).

Настройка контроллеров и последующий вызов групп светильников и режимов освещения в стандарте **DALI** осуществляется простой последовательностью нажатий обычных одно- или двухклавишных выключателей. Процесс настройки прост и может осуществляться даже неподготовленным персоналом.

Блоки питания **DALI PS (PS 1)** обеспечивают ток до 200 мА, которого достаточно для питания управляющих входов всех 64 светильников системы **luxCONTROL** с аппаратами, работающими в стандарте **DALI**, и контроллеров (рис. 7.6). Напряжение в стандарте **DALI** — от 9 до 22,5 В, наиболее распространенное — 16 В.

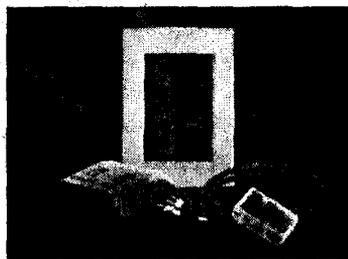


Рис. 7.4. Набор блоков **comfortDIM**

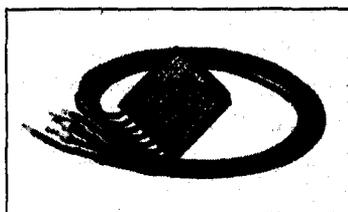


Рис. 7.5. Внешний вид контроллера групп **DALI GC**

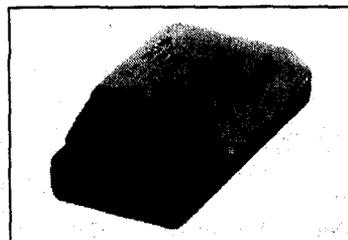


Рис. 7.6. Блок питания **DALI PS (PS 1)**

Управляющие сигналы передаются по тем же проводам, по которым осуществляется питание, то есть прокладка отдельных управляющих проводов не требуется.



Примечание.

Европейские стандарты допускают прокладку проводов системы DALI в общей кабеле или в одной трубе с силовыми проводами с напряжением 220—240 В; лучше всего для этого использовать пятижильные кабели (две жилы — силовое напряжение, две жилы — DALI и нейтраль).

Использование стандарта DALI делает систему **comfotrDIM** значительно более гибкой и функциональной, чем система **modularDIM**, работающая в стандарте **DSI**, и чем системы с аналоговым управлением напряжением 1—10 В.

Для обеспечения возможности использования пускорегулирующих аппаратов и трансформаторов, работающих только в стандарте **DSI**, имеется преобразователь сигналов **DALI/DSI**. Подключение к компьютерам осуществляется через специальный интерфейс **DALI SCI**.

Панель управления **DALI TOUCHPANEL** (рис. 7.7) позволяет управлять группами светильников, режимами их работы, а также программировать эти режимы для отдельных светильников или групп.

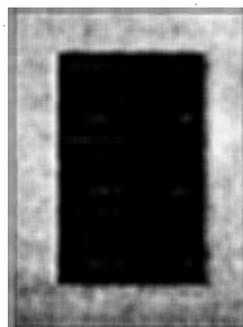


Рис. 7.7. Панель управления DALI TOUCHPANEL



Примечание.

В отличие от стандарта DSI, в котором все подключенные светильники регулируются одновременно и одинаково, стандарт DALI позволяет осуществлять независимое адресное управление отдельными светильниками или группами светильников.

Стандарт DALI обеспечивает управление осветительными установками по заранее разработанной программе. Фирма **TridonicAtco** специально для этой цели создала программу **winDIM**, версия которой **winDIM@net** имеется в Интернете.

Эта программа позволяет также увязывать в единую систему все службы инженерного обеспечения зданий и осуществлять управление ими с единого централизованного диспетчерского пункта. Еще одно достоинство стандарта **DALI** — он обеспечивает «обратную связь» в осветительных установках, то есть позволяет получать постоянные сообщения о неисправностях ламп и ЭПРА, режимах их работы и т. д.

Для работы в **СУО luxCONTROL** фирмой **TridonicAtco** производится широкий ассортимент аппаратуры: регулируемые электронные ПРА для линейных и компактных люминесцентных ламп, электронные трансформаторы для галогенных ламп накаливания, фазовые регуляторы с отсечкой по переднему или заднему фронту для обычных ламп накаливания, конверторы для питания светодиодов.

Наличие управляемых ЭПРА, трансформаторов и конверторов открывает возможности создания цветодинамичных установок с использованием цветных люминесцентных ламп или галогенных ламп накаливания и, особенно, светодиодов.

Все последние разработки фирмы в области регулируемых ЭПРА, электронных трансформаторов и конверторов выпускаются в исполнении «**one4all**». То есть они допускают регулирование как по стандарту **DALI**, так и по стандарту **DSI**, а также прямое управление простыми клавишными выключателями **SWITCH** и датчиками **SMART**.

Это делает возможным использование в системе **luxCONTROL** аппаратов, воспринимающих команды в различных цифровых стандартах, и, кроме того, позволяет управлять светильниками с помощью постоянного напряжения (1—10 В) или потенциометрами.

В связи с этим следует сказать, что в странах Западной Европы, США, Канаде, Японии и ряде других стран наличие двухпроводной сети постоянного тока с напряжением 10 В в административных зданиях является обязательным (система **EIB** или **LONWORKS**). По проводам этой сети могут передаваться и цифровые управляющие команды; поэтому создание осветительных установок с **СУО** там не вызывает дополнительных затрат на прокладку управляющих сетей.

Система **luxCONTROL** обеспечивает постоянство освещенности на рабочих местах: в зависимости от естественной освещенности, регулируемые электронные аппараты (ПРА, трансформаторы или конверторы), получая сигналы от датчиков, так изменяют световой поток ламп, чтобы суммарная освещенность оставалась постоянной.

Кроме этого, работающие в помещении сотрудники могут сами управлять освещенностью на своем рабочем месте с помощью установ-

ленных в удобных местах ручных регуляторов или пультов дистанционного управления, аналогично тому, как регулируется громкость или переключаются каналы в телевизорах.

Электронные ПРА исключают пульсации светового потока люминесцентных ламп, обеспечивают их мягкое, без миганий включение и бесшумную работу светильников. Это делает осветительные установки исключительно комфортными.

Последней новинкой фирмы TridonicAtco в области светорегулирования стали пульты управления *x-touch-BOX* и *x-touchPANEL* (рис. 7.8)

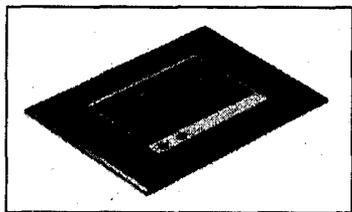


Рис. 7.8. Пульты управления *x-touch-BOX* и *x-touchPANEL*

со встроенными секвенсорами (датчиками последовательности включений). Эти пульты предельно просты в настройке и обслуживании, содержат встроенные секвенсоры с 99 независимыми световыми режимами.

Каждый пульт может управлять 64-мя светильниками с аппаратами, работающими в стандарте DALI, т. е. ЭПРА для линейных или компактных люминесцентных ламп, электронные трансформаторы или фазовые регуляторы для ламп накаливания, конверторы для светодиодов.

Информация выводится на плоские цветные дисплеи с диагональю 5,7 дюйма (145 мм). Встроенный «диспетчер» позволяет устанавливать определенные режимы работы для каждого из семи дней недели (время включения и выключения светильников, регулирование их светового потока по заданной программе), что открывает дополнительные возможности повышения комфорта и экономии электроэнергии. Для подключения пультов требуется только сетевое напряжение (от 110 до 240 В) и управляющие провода. Мощность, потребляемая пультом — не более 10 Вт.

Главным достоинством автоматизированных СУО, аналогичных системе *luxCONTROL*, является то, что они не только повышают комфортность освещения, но и обеспечивают значительную экономию электроэнергии. Это достигается за счет следующих мероприятий:

- ♦ система учитывает естественную освещенность в помещениях;
- ♦ система отключает светильники при отсутствии в помещении людей (с помощью датчиков присутствия) и в нерабочее время (датчиками времени или заложенной программой).

ПОЛЕЗНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ОСВЕЩЕНИЮ

Видимое излучение — электромагнитное излучение с длиной волны от 380 до 780 нм. Нм (нанометр) — одна миллиардная доля метра.

Коэффициент цветопередачи R_a — отношение цветов предметов при освещении их данным источником света к цветам этих же предметов, освещаемых источником света, принятым за эталон (чаще всего Солнцем), в строго определенных условиях.

Данный коэффициент отражает уровень соответствия естественного цвета тела с видимым цветом этого тела при освещении его эталонным источником света. Для определения значения фиксируется R_a сдвиг цвета с помощью восьми указанных в DIN 6169 стандартных эталонных цветов, который наблюдается при направлении света тестируемого источника света на эти эталонные цвета. Чем меньше отклонение цвета излучаемого тестируемой лампой света от эталонных цветов, тем лучше характеристики цветопередачи этой лампы. Источник света с показателем цветопередачи $R_a = 100$ излучает свет, оптимально отражающий все цвета, как свет эталонного источника света. Чем ниже значение R_a , тем хуже передаются цвета освещаемого объекта:

$R_a = 91—100$ — очень хорошая цветопередача;

$R_a = 81—91$ — хорошая цветопередача;

$R_a = 51—80$ — средняя цветопередача;

$R_a < 51$ — плохая цветопередача.

Освещение — применение света в конкретной обстановке, рядом с объектами или в их окружении, с целью сделать их видимыми.

Освещенность E — величина, которая отражает соотношение падающего светового потока к освещаемой площади. Освещенность равна

1 лк, если световой поток 1 лм равномерно распределяется по площади 1 м². Единица измерения: люкс [лк]. Примеры величины освещенности:

Солнечный летний день — 60000—100000 лм.

Мрачный летний день — 20000 лм.

Мрачный зимний день — 3000 лм.

Хорошо освещенное рабочее место — 500—750 лм.

Пешеходная зона — 5—100 лм.

Ночь полнолуния — 0,25 лм.

Ночь безлунная — 0,01 лм.

Освещенность согласно DIN 5035/2 трактуется как минимальная освещенность на рабочих местах определяется в DIN 5035 (части 2) и соответствующими директивами для рабочих мест. Разумеется, соблюдение этих регламентов и норм не гарантирует в каждом случае хорошую систему освещения.

Свет и излучение — электромагнитное излучение, вызывающее в глазу человека зрительное ощущение. При этом речь идет об излучении в диапазоне от 360 до 830 нм, занимающем мизерную часть всего известного нам спектра электромагнитного излучения.

Световая отдача h — величина, которая показывает, с какой экономичностью потребляемая электрическая мощность преобразуется в свет. Этот термин относится исключительно к источникам света (лампам), а не к светильникам, для которых применяется понятие КПД, т. е. отношение излученного светильником светового потока к общему световому потоку, излучаемому находящимися в нем источниками света (лампами). Единица измерения: люмен на ватт.

Световой поток Φ — вся мощность излучения источника света, оцениваемая по световому ощущению глаза человека. Полное количество света, излучаемого данным источником. Единица измерения: люмен [лм].

Сила света I — интенсивность излучаемого в определенном направлении света. Источник света излучает световой поток Φ в разных направлениях с различной интенсивностью. Отношение светового потока, направляемого от источника света (лампы) или светильника в пределах элементарного пространственного угла (1 стерадиан), охватывающего данное направление, к этому углу. Полный пространственный угол равен 12,56 стерадиан (4 пи). Единица измерения: кандела [кд].

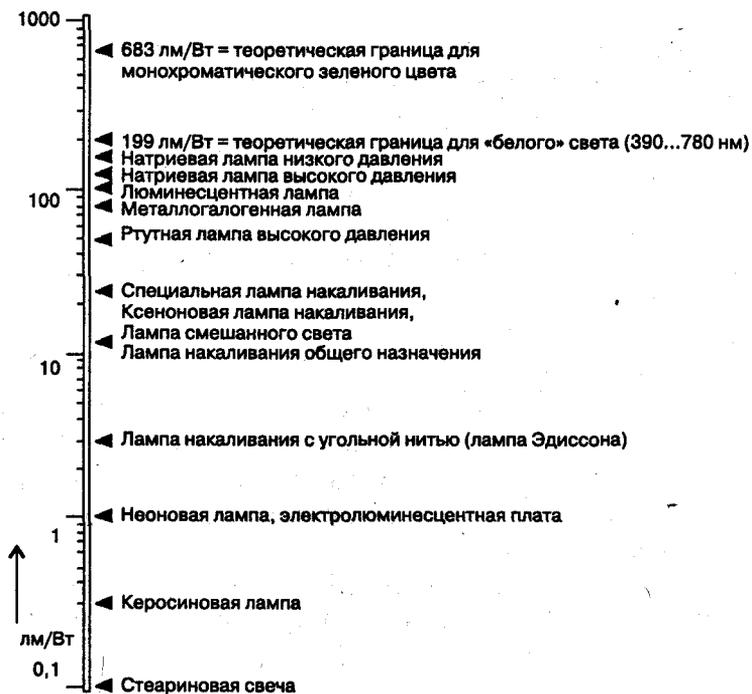


Рис. П. 1. Реальные примеры световой отдачи различных источников света

Система комбинированного освещения — система освещения помещений, включающая в себя светильники, расположенные непосредственно у рабочего места и предназначенные для освещения только лишь рабочей поверхности (местное освещение), а также светильники общего освещения, предназначенные для выравнивания распределения яркости в поле зрения и создания необходимой освещенности по проходам освещаемого помещения. Светильник общего назначения: светильник, не предназначенный для специального назначения. Примерами светильников общего назначения являются подвесные светильники, отдельные прожекторы и некоторые стационарные светильники для установки на поверхности или встраиваемые. Примерами светильников специального назначения являются светильники для тяжелых условий эксплуатации, для фото- и киносъемок, для плавательных бассейнов.

Система общего освещения — система освещения помещения, предназначенная для освещения не только рабочих поверхностей, но и всего

помещения в целом, в связи с чем светильники общего освещения обычно размещаются под потолком на достаточно большом расстоянии от рабочих поверхностей.

Цветность света очень хорошо описывается цветовой температурой. Существуют следующие три главные цветности света: тепло-белая менее 3300 К, нейтрально-белая 3300—5000 К, белая дневного света — более 5000 К. Лампы с одинаковой цветностью света могут иметь различные характеристики цветопередачи, что объясняется спектральным составом излучаемого ими света.

Цветовая температура — мера объективного впечатления от цвета данного источника света. Цветовая температура источника света определяется путем сравнения с так называемым «черным телом» и отображается «линией черного тела». Если температура «черного тела» повышается, то синяя составляющая в спектре возрастает, а красная составляющая убывает. Лампа накаливания с тепло-белым светом имеет, например, цветовую температуру 2700 К, а люминесцентная лампа с цветностью дневного света — 6000 К. Единица измерения: кельвин (К).

2700 К — сверхтеплый белый.

3000 К — теплый белый.

4000 К — естественный белый или нейтральный белый.

5000 К — холодный белый (дневной).

Цветовое ощущение — общее, субъективное ощущение, которое человек испытывает, когда смотрит на источник света. Свет может восприниматься как теплый белый, нейтральный белый, холодный белый. Объективное впечатление от цвета источника света определяется цветовой температурой.

ПОЛЕЗНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПО СВЕТИЛЬНИКАМ

Отражатели — это светоуправляющие устройства, работающие на базе отражающей поверхности. Они могут быть зеркальными и рассеивающими.

Рассеивающие отражатели в основном покрываются белым лаком. КПД и распределение света определяются прежде всего глубиной установки лампы и габаритами отражателя. Его форма оказывает незначительное влияние.

Зеркальные отражатели на сегодняшний день почти без исключения изготавливаются из полированного и анодированного алюминия, поэтому контур отражателя играет решающую роль. Практическое значение на сегодняшний день имеют следующие формы зеркальных отражателей:

- ♦ **сферические отражатели** отбрасывают свет в фокус, они часто применяются, как дополнительные отражатели для концентрированных световых пучков и в автомобильных фарах.
- ♦ **эллипсоидальные отражатели** направляют свет во второй фокус. С помощью такого отражателя можно управлять большим количеством света из малых отверстий при условии, что при этом используются маленькие лампы с высокой яркостью. Недостатком является высокая температура в фокусе, объясняющаяся узкой фокусировкой направленностью света.
- ♦ **параболические отражатели** выстраивают свет от источника света в своем фокусе параллельно. Максимальное значение силы света определяется яркостью источника света и отверстием (проемом) отражателя. Параболические отражатели в основном применяются в автомобильных фарах и прожекторах.

Светильник — прибор, перераспределяющий, фильтрующий и преобразующий свет, излучаемый одной или несколькими лампами и содержащий все необходимые детали для установки, крепления его и ламп,

но не сами лампы, а также электрические цепи и элементы для присоединения его к электрической сети.

КПД светильника — величина, которая отражает отношение светового потока светильника к световому потоку установленной в нем лампы. Является важным критерием оценки энергоэкономичности светильника.

Светильник автономный — светильник с индивидуальным источником питания.

Светильник венчающий — опорный светильник для установки на вертикальной опоре.

Светильник встраиваемый — светильник, предназначенный для полного или частичного встраивания в монтажную полость. Термин относится к светильникам, предназначенным для работы в замкнутых объемах, устанавливаемым в специальной полости, например, в подвесные потолки.

Светильник консольный — опорный светильник, световой центр которого смещен относительно вертикали, проходящей через точку крепления опоры.

Светильник напольный (торшер) — опорный светильник для установки на полу.

Светильник настенный (бра) — светильник, для установки на вертикальную поверхность.

Светильник настольный — опорный светильник, для установки на столе или другой мебели.

Светильник опорный — светильник, для установки на верхней стороне горизонтальной поверхности или крепления к ней с помощью стойки или опоры.

Светильник переносной — светильник, который при нормальном использовании может легко перемещаться с места на место без отключения от электрической сети. К переносным светильникам относятся настольные светильники с несъемным гибким кабелем или шнуром, снабженным штепсельной вилкой, и светильники, которые могут быть закреплены на основании при помощи винтов-барашков, зажимов или крюков так, чтобы обеспечивалось быстрое снятие их с основания вручную.

Светильник подвесной — светильник, который крепится к опорной поверхности снизу при помощи элементов подвеса высотой более 0,1 м.

Светильник потолочный — светильник, который крепится к потолку непосредственно или с помощью элементов крепления высотой не более 0,1 м.

Светильник приставляемый — светильник, жестко прикрепляемый непосредственно к поверхности мебели или оборудования.

Светильник регулируемый — светильник, основная часть которого может изменять положение в пространстве при помощи шарниров, пантографов и гибких стоек, телескопических и подобных устройств. Регулируемый светильник может быть стационарным или переносным.

Светильник ручной — переносной светильник, который во время работы располагается в руке или крепится к деталям одежды человека.

Светильник сетевой — светильник, питаемый от электрической сети.

Светильник стационарный — светильник, который нельзя переносить с одного места на другое, или крепление которого выполнено так, что его перемещение возможно только при помощи инструмента. Как правило, стационарные светильники рассчитаны на постоянное присоединение к электрической сети без помощи штепсельных вилок или подобных устройств. Примерами светильников, предназначенных для использования в труднодоступном месте, являются подвесные и потолочные светильники.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ЧАСТЫЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАБЛУЖДЕНИЯ

В этом приложении собраны неправильные и неточные термины, которыми иногда пользуются при отсутствии достаточного количества светотехнических знаний. Будем надеяться, что их список прольет свет на истинное положение дел и будет способствовать утверждению правильной терминологии.

Утверждение	Комментарий
Дихроичные лампы — все галогенные лампы с отражателями	Неправильное название происходит от английского слова <i>dichroic reflector</i> , означающего «интерференционный отражатель». Более коротко лампы с этими отражателями принято называть «лампами холодного света» или «лампами с холодным световым пучком». Необходимо заметить, что существуют и лампы с алюминиевыми отражателями, внешний вид которых не всегда отличается от отражателей с нанесенной интерференционной пленкой.
Лампы типа PAR — особый тип ламп, такой же, как лампы накаливания или люминесцентные	К типу PAR могут быть отнесены лишь колбы, но не сами лампы. Прессованные колбы с напыленными алюминиевыми или интерференционными отражателями могут использоваться как для обычных ламп накаливания, так и для галогенных и даже металлогалогенных. Так что приведенного в левой колонке описания едва ли достаточно даже для правильного заказа лампы.
Лампы дневного света — все трубчатые лампы с люминофором	Этим неправильным термином в обиходе называют люминесцентные лампы. В профессиональной светотехнике свет характеризуется цветностью и (или) цветовой температурой. Под «дневным» светом обычно понимается свет настоящего пасмурного неба (без учета солнца). Искусственные же источники света могут иметь лишь дневную цветность. К ним относятся лампы накаливания в синих колбах, люминесцентные лампы с высокими цветовыми температурами, некоторые ртутные и металлогалогенные лампы высокого давления. Класса ламп, излучающих только свет дневной цветности, не существует (люминесцентные лампы — не исключение).
Рефлекторные лампы — все лампы с отражателями	Название происходит от английского слова reflector — отражатель. Однако в российской практике лампы, имеющие зеркальные отражающие поверхности, принято называть зеркальными (кстати, существует и английский аналог этого термина — <i>mirror lamp</i>). К рефлекторным относят лишь люминесцентные и ртутные лампы, что позволяет подчеркнуть их принципиально другой (диффузный) характер отражения света.

Утверждение	Комментарий
Электронные пускорегулирующие аппараты — все устройства, содержащие электронные схемы	Этим термином иногда ошибочно называют схемы с электронными стартерами или с электронными зажигающими устройствами. Однако по международной классификации электронными аппаратами называют лишь схемы, имеющие внутренние преобразователи напряжения и/или частоты питающей сети, необходимые на каждом этапе работы лампы.
Спот — сокращенное название зеркальной лампы	Это несуществующее в русском языке слово происходит от английского spotlight («источник пятен света»). В иностранной литературе под данное определение в той или иной степени попадают все зеркальные лампы, а также некоторые маломощные прожектора. Поэтому там оно используется не в качестве термина, а лишь для указания характера освещения. В русском языке вместо «пятен света» пользуются более благозвучным термином «световые акценты».
Энергосберегающие лампы — наиболее экономичные источники света	Из экономики известно, что понятие экономии или экономического эффекта имеет смысл только при сравнении двух вариантов. Для компактных люминесцентных ламп со встроенными электронными балластами в качестве объекта сравнения были выбраны лампы накаливания — наименее эффективные из всех современных источников света. Это дало основания для разработки рекламного термина «энергосберегающая лампа». На деле, при сравнении с моделями без встроенных балластов, а тем более — с обычными люминесцентными или металлогалогенными лампами, данный вид ламп оказывается наименее экономичен.

И еще несколько терминов:

«Лед» — (LED) — светоизлучающий диод, светодиод;

«ледовая инсталляция» — проект освещения, выполненный на светодиодах;

«фибероптика» — оптоволокно;

«презентс-детектор» — датчик присутствия;

«слим» — люминесцентные лампы типа T5;

«металгаллидные или галоидные» — металлогалогенные лампы;

«фликкер» — пульсация освещенности;

«эффективность лампы» — световая отдача (lamp efficacy);

«фактор мощности» — коэффициент мощности;

«диммер» — светорегулятор;

«блэклайты» — (blacklight lamp) лампы черного света — ультрафиолетовые лампы с колбами из темно фиолетового стекла.

СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИИ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ НА КОМПАКТ-ДИСКЕ, ПРИЛАГАЕМОМ К КНИГЕ

01 КАТАЛОГИ PHILIPS

Лампы и ПРА

ЛН.pdf

Общая информация, обзор источников света,
предметный указатель.pdf

ГЛН.pdf

Газоразрядные высокого давления.pdf

КЛЛ неинтегрированные.pdf

КЛЛ интегрированные.pdf

Люминесцентные лампы.pdf

Освещение и Светильники

Архитектурное прожекторное освещение.pdf

Декоративное уличное освещение.pdf

Дорожное освещение.pdf

Водозащищенные светильники и светильники
для чистых помещений.pdf

Светильники для высоких пролетов.pdf

Общая информация, обзор источников света,
предметный указатель.pdf

Освещение тоннелей и подземных переходов.pdf

Освещение автозаправочных станций.pdf

Освещение открытых площадок и охранное освещение.pdf

Спортивное освещение.pdf

Магистральные системы и речные светильники.pdf

Светодиодные и оптоволоконные системы.pdf
Прожекторы и шинопроводы.pdf
Светильники, излучающие вниз, и многоламповые системы.pdf
Встраиваемые светильники.pdf
Подвесные и потолочные светильники.pdf
Введение.pdf
Усовершенствуйте.pdf
Новые возможности освещения, предоставляемые светодиодами.pdf
Светодиодное освещение.pdf
Современный офис.pdf

02 КАТАЛОГИ OSRAM\

Автомобильные лампы.pdf
Светодиоды.pdf
ЭПРА и системы упр.pdf
Понятия определения символы.pdf
Энергоэффективность ламп.pdf
Светильники.pdf
Спецлампы. Фотооптика.pdf
Индикаторные и сигнальные лампы.pdf
Специальные облучатели.pdf
Газоразрядные лампы.pdf
ЛЛ.pdf
КЛЛ.pdf
ГЛН.pdf
ЛН общего назначения.pdf
Журнал esg-spot\

03 КАТАЛОГИ GE LIGHTING\

GE Biax_rus.pdf
GE KLL.pdf
GE LL.pdf
Каталог_GE.pdf
PolyluxXLRus.pdf
PolyluxRus.pdf
LucaloxHORus.pdf
GE-T5-Russian.pdf
Газоразрядные.pdf

ГЛН.pdf
ЛН.pdf
Люминесцентные лампы.pdf
КЛЛ.pdf
GE Lamp Catalogue 2007-2008.pdf
SHOWBIZ® Lamps_07-08.pdf
High Intensity Discharge Lamps_07-08.pdf
Halogenen Lamps_07-08.pdf
Fluorescent Lamps_07-08.pdf
Compact Fluorescent Lamps_07-08.pdf

04 КАТАЛОГ ЛЮММАКС

lumaxitog.wmv
Люммакс КЛЛ.pdf

05 ДОКУМЕНТАЦИЯ

IR\
ST\
ZETEX\
Светодиоды\
Транзисторы\
...

06 SOFT

Ballast Designer\
DIALux\
VIPer Design Software v2.24\
РадиоЛюбителям\
...

07 ПЛАТЫ, ПРОШИВКИ

08 ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОСМОТРА PDF DJVU

Foxit PDF Reader 1.3.1621\
LizardTech DjVu Browser Plug-in 6.1.1\
...

ПОЛЕЗНЫЕ ССЫЛКИ ИЗ СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Каталоги схем на тему:

Свет, освещение, светотехника

<http://www.rlocman.ru/shem/search.html?rz=0205>
<http://www.radioradar.net/radiofan/index.html#19>
<http://www.qrz.ru/schemes/?id=24>
http://kazu.ru/indexs/list_pages_categories/11/0/0.html
<http://www.radiokot.ru/circuit/light/run/>
<http://cxem.net/house/1.php>
<http://zps-electronics.com/index.php?id=17&sid=2>
<http://www.irls.narod.ru/index.htm>

Форумы:

Светотехника

<http://forum.expertunion.ru/forum/forumdisplay.php?f=2>

Люминесцентные лампы

<http://www.pro-radio.ru/urbanism/1730/>

Ремонт КЛЛ (компактных люминесцентных ламп)

<http://www.pro-radio.ru/it-works!/2280/>

Светодиоды

<http://ledforum.ru>
<http://forum.ledz.org>
<http://super.bright-leds.ru>

Литература и Интернет-ресурсы

1. Nakamura S., Fasol G. The blue Laser Diode; GaN based Light Emitters and Lasers. — Heidelberg — 1997.
2. Алферов Ж. И. Физика и Жизнь. — СПб — 2000.
3. Алферов Ж. И. Физика и техника полупроводников. — 1998. — т. 32. — № 1. — С. 3-18.
4. Давиденко Ю. Н. Проектирование электронных пускорегулирующих аппаратов для люминесцентных ламп. // Радио. — 2004. — № 7. — С. 41.
5. Давиденко Ю. Н. Миниатюрный электронный балласт на IR51HD420. // Электрик. — 2004. — № 11. — С. 5.
6. Давиденко Ю. Н. Электронный балласт на IR2151 для люминесцентных осветительных ламп. // Радиолюбби. — 2003. — № 3. — С. 58-61.
7. Зуев Л. Экономичный преобразователь для питания люминесцентной лампы от аккумуляторной батареи. // Радио. — 2001. — № 2. — С. 34, 35.
8. Коган Л. М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. — М.: Энергоатомиздат. — 1983.
9. Коган Л. М. Светодиодные осветительные приборы. // Светотехника. — 2002. — № 5. — С. 16-20.
10. Краснопольский А. Е. и др. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп. — М.: Энергоатомиздат. — 1988. — 208 с.
11. Лосев О. В. У истоков полупроводниковой техники: Избранные труды. — Л.: Наука. — 1972. — 202 с.
12. Рохлин Г. Н. Дуговым источникам света 200 лет. — М.: ВИГМА. — 2001.
13. Рохлин Г. Н. Разрядные источники света. — 2-е изд., перераб и п. — Энергоатомиздат. — 1991. — 720 с.
14. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. — М.: Солон-Р. — 2001.
15. Справочная книга радиолюбителя – конструктора. — М.: Радио и связь. — 1990.
16. Справочная книга по светотехнике. Под редакцией Ю. Б. Айзенберга. — М.: Энергия. — 1995.
17. Юнович А. Э. Ключ к синему лучу или о светодиодах и лазерах, голубых и зеленых. //Химия и жизнь. — 1999. — № 5-6. — С. 46-48.
18. Юнович А. Э. Свет из гетеропереходов. // Природа. — 2001. — № 6. — С. 38.—46.
19. <http://www.cqham.ru/>
20. <http://www.cree.com>
21. <http://www.ge.com/en/product/home/lighting.htm>
22. <http://www.ge.com/ru/lighting/index.htm/>
23. <http://www.gelighting.com>
24. <http://www.irf.com>
25. <http://www.osram.com/>
26. <http://www.osram.ru>
27. <http://www.philips.ru/index.page>
28. <http://www.qrx.narod.ru>
29. <http://www.qrz.ru/>
30. <http://www.radio.ru/>
31. <http://www.rlocman.com.ru/>
32. <http://www.seoulsemicon.com/en/>

СЕТЬ МАГАЗИНОВ

для радиоинженеров, радиолюбителей
и домашних мастеров

МАГАЗИНЫ

г. Москва
м. Молодежная
ул. Ивана Франко, д.40, стр.2
Тел. (495) 417 33 55
E-mail: magazin@voltmaster.ru

ТЕРМИНАЛЫ САМООБСПУЖИВАНИЯ

г. Москва
м. Новослободская
1-й Щемилковский пер., д.16, стр.2
Тел. (495) 741 34 44
E-mail: voltmaster@voltmaster.ru

г. Москва
м. Тушинская
ТК «Митинский радиорынок»
Пятницкое ш., д. 18, пав. 136, пав 18
Тел.: (495) 787 04 31
E-mail: mlino@voltmaster.ru

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНЫ

г. Санкт-Петербург
пр-т Обуховской обороны, д. 120,
ТК «ОН», секции С-9 и С-11
Тел.: (812) 233 07 17
E-mail: zakaz@voltmaster.spb.ru

г. Томск
ул. Усова, д. 15
Тел.: (3822) 56 3769
E-mail: info@elgrad.net

РАДИОДЕТАЛИ

Микросхемы, Транзисторы,
Диоды, Светодиоды,
Тиристоры, Резисторы,
Конденсаторы, Реле,
Коммутация

УМНЫЙ ДОМ

Управление освещением
и электроприборами,
Беспроводные технологии

ПРИБОРЫ

Тестеры, Мультиметры,
Осциллографы, Термометры

ИНСТРУМЕНТ

Дрели и шуруповерты,
Отвертки, Кусачки, Пассатижи

АВТОЭЛЕКТРОНИКА

Парктроники, Ксенон, GPS навигаторы

ЭЛЕКТРОУСТАНОВОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Розетки, Удлинитель,
Лампы и патроны, Короба

СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Видеокамеры,
Сигнализация

интернет-магазин

OZON.RU



85916262