

ОТЗЫВ

на бакалаврскую работу «Стабилизатор тока для питания мощных светодиодов», выполненную студентом направления

«Электроника и нанoeлектроника»

Курынов Богдан Васильевич

В рамках указанной работы дипломник разрабатывал стабилизатор тока для питания мощных светодиодов. В соответствии с заданием в первой главе работы представлен обзор существующих стабилизаторов тока для питания мощных светодиодов. Вторая глава посвящена разработке структурной и функциональной схем стабилизатора. Третья глава посвящена разработке электрической принципиальной схемы стабилизатора тока на основе микросхемы MP2481.

С поставленными задачами дипломник, в целом, справился. Изучил работу системы проектирования печатных плат NI Ultiboard, продемонстрировал навыки пользования схемотехническим симулятором NI Multisim, а также программой для создания чертежей sPlan 7.0.

Считаю, что Курынов Б. В. заслуживает оценки «хорошо» и присвоения квалификации бакалавра по направлению подготовки «Электроника и нанoeлектроника».

Руководитель работы
д.т.н., профессор



20.06. 2018

И. В. Гуляев

Заявление о самостоятельном характере выполнения
бакалаврской работы

Я, Курынов Богдан Васильевич, студент 4 курса, направления подготовки 11.03.04 «Электроники и наноэлектроники», заявляю, что в моей бакалаврской работе на тему «Стабилизатор тока для питания мощных светодиодов», представленной в Государственную экзаменационную комиссию для публичной защиты, не содержится элементов неправомерных заимствований.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также ранее защищенных письменных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим в Университете Положением о проверке выпускных квалификационных работ студентов ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарева» на наличие заимствований, в соответствии с которым обнаружение неправомерных заимствований является основанием для неудовлетворительной оценки выпускной квалификационной работы.

Подпись студента



Дата 11.06.18г.

Работа представлена для проверки в Системе

Дата представления
бакалаврской работы

11.06.2018



подпись руководителя
бакалаврской работы

ОТЧЕТ

*о результатах проверки бакалаврской работы обучающегося
на наличие заимствований*

Автор работы Курынов Богдан Васильевич

Тема работы Стабилизатор тока для питания мощных светодиодов

Руководитель Гуляев Игорь Васильевич

Представленная работа прошла проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат. ВУЗ»

Результаты автоматической проверки:	оригинальность	68,51 %
	цитирования	7,87%
	заимствования	23,62%

Результаты анализа полного отчета на наличие заимствований:
правомерные заимствование: есть

корректные цитирования: нет

неправомерные заимствования: нет

признаки обхода системы: нет

Общее заключение об итоговой оригинальности работы и возможности ее допуска к защите:

В соответствии с « Положением о проверке работ обучающихся ФГБОУ ВО МГУ им. Огарева на наличие заимствований» выпускная квалификационная работа Курынова Б. В. «Стабилизатор тока для питания мощных светодиодов» может быть допущена к защите.

Руководитель
д.т.н., профессор

11.06.2018



Гуляев И. В.

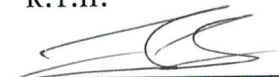
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н.П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
кафедра электроники и наноэлектроники

УТВЕРЖДАЮ


Заведующий кафедрой

к.т.н.

 Н. Н. Беспалов
«20» 06 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
СТАБИЛИЗАТОР ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

Автор бакалаврской работы

 15.06.2018 Б. В. Курынов

Обозначение бакалаврской работы


БР – 02069964 – 11.03.04 – 15 – 18

Направление подготовки


11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Руководитель работы

д.т.н., профессор

 15.06.2018 И. В. Гуляев

Нормоконтролёр

 20.06.2018 А. А. Шестёркина

Саранск

2018

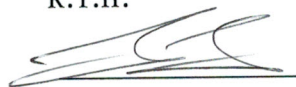
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н.П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
кафедра электроники и наноэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

К.Т.Н.



Н. Н. Беспалов

«12» 10 2017 г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

(в форме бакалаврской работы)

Студент Курынов Богдан Васильевич

1 Тема «Стабилизатор тока для питания мощных светодиодов»

Утверждена приказом по № 8241-с от 12.10.2017 г.

2 Срок представления работы к защите 15 июня 2018 г.

3 Исходные данные для выпускной квалификационной работы:

схема технологического процесса, техническое задание

4 Содержание выпускной квалификационной работы.

4.1 Обзор существующих стабилизаторов тока для питания мощных светодиодов

4.2 Разработка структурной и функциональной схем стабилизатора тока

4.3 Разработка электрической принципиальной схемы стабилизатора тока на основе микросхемы MP2481


5 Приложения.

5.1 Внешний вид печатной платы устройства.

5.2 Внешний вид печатной платы с установленными компонентами устройства.

5.3 Схема электрическая принципиальная стабилизатора тока.

Руководитель работы



И. В. Гуляев

Задание принял к исполнению



Б. В. Курынов

РЕФЕРАТ

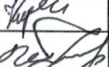



Бакалаврская работа содержит 60 страниц, 46 рисунков, 4 таблицы, 34 формулы, 22 литературных источников, 3 приложения.

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
УСТРОЙСТВОМ, СТРУКТУРНАЯ СХЕМА, МИКРОКОНТРОЛЛЕР,
БУФЕРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ТОКА.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ: источники питания мощных светодиодов

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ: разработка источника тока для питания мощных светодиодов

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ: выбраны компоненты, необходимые для реализации источника питания, был показан принцип работы системы управления устройством, необходимый для работы источника питания. Сделан литературный обзор компонентов, входящих в систему.

БР-02069964-11.03.04-15-18								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Стабилизатор тока для питания мощных светодиодов	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Курынов Б.В.		15.06.18				
Провер.		Гуляев И.В.		15.06.18			4	60
Н. Контр.		Шестёркина А.А.		20.06.18		МГУ им. Н.П. Огарёва ИЭС ПЭ 411 гр.		
Утверд.		Беспалов Н. Н.		20.06.18				

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Обзор существующих стабилизаторов тока для питания мощных светодиодов.....	8
1.1 Общие характеристики мощных светодиодов.....	8
1.2 Строение светодиодов.....	9
1.3 Управление светодиодами постоянным током.....	12
1.4 Источники стабильного постоянного тока.....	14
1.5 Виды соединений светодиодов.....	16
1.6 Типы стабилизаторов напряжения и тока для питания светодиодов.....	19
1.6.1 Линейные стабилизаторы.....	19
1.6.2 Импульсные стабилизаторы.....	21
2 Разработка структурной и функциональной схем стабилизатора тока.....	26
2.1 Структурная схема стабилизатора тока.....	26
2.2 Обзор микросхемы MP2481 стабилизатора тока для мощных светодиодов.....	28
2.3 Выбор элементной базы.....	39
2.4 Выбор входного устройства питания драйвера.....	42
3 Разработка электрической принципиальной схемы стабилизатора тока на основе микросхемы MP2481.....	44
3.1 Схема электрическая принципиальная стабилизатора тока.....	44
3.1.1 Разработка печатной платы разрабатываемого устройства.....	46
3.1.2 Выбор и обоснование основных параметров печатной платы.....	47
3.1.3 Конструкторский расчёт печатной платы.....	47
3.1.4 Расчет электрических параметров печатной платы.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		5

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Внешний вид печатной платы устройства.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Внешний вид печатной платы с установленными компонентами устройства.....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Схема электрическая принципиальная и перечень элементов	

					<i>БР-02069964-11.03.04-15-18</i>	<i>Лис</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дат</i>		6

ВВЕДЕНИЕ

Светодиодное освещение - одно из многообещающих направлений технологий искусственного освещения, основанное на применении светодиодов в виде источника света. Применение светодиодных ламп в освещении уже занимает существенную долю рынка. Развитие напрямую связано с технологическим совершенствованием светодиода.

В настоящее время светодиоды нашли применение в самых различных областях: светодиодные фонари, автомобильная светотехника, рекламные вывески, светодиодные панели и индикаторы, бегущие строки и светофоры и т.д. В сравнении с обычными лампами накаливания, а также люминесцентными лампами светодиоды обладают многими преимуществами: миниатюрность, экологичность, безопасность, долгий срок службы, высокие световые характеристики, возможность работы в широком спектре температур, большой выбор цветов.

Ключевым моментом замены традиционных ламп накаливания, на светодиодные источники света является существенная экономия электроэнергии.

В основном применяются приборы на белых светодиодах[1].

Главные проблемы, останавливающие массовое внедрение этих перспективнейших источников света, на сегодня являются: Первое это — высокая начальная стоимость устройств освещения на светодиодах, но расходы, требуемые при эксплуатации значительно меньше конкурентных источников освещения и в течение года окупаются.

Второй проблемой до сих пор остается отвод тепла мощных светодиодов, только 5% передается в виде теплого излучения в воздух и около 90% переходит в подложку самого светодиода.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		7

1 Обзор существующих стабилизаторов тока для питания мощных светодиодов

1.1 Общие характеристики мощных светодиодов

Изобретение транзисторов стало одним из самых прогрессивных открытий в науке. Последующее развитие полупроводниковой электроники и создание компьютеров во второй половине XX в. привело к кардинальному скачку в эволюции высоко технологичных производств, организацию труда на всех уровнях управления.

Особые перспективы возникли в области физики полупроводников, изучающая люминесценцию. Прогресс в этой сфере позволил создать полупроводниковые источники света - светодиоды.

Первые открытия были сделаны в нашей стране еще в 1923 г. О.В.Лосевым, работавшим в Ленинградском физико-техническом институте и Нижегородской радиотехнической лаборатории. Однако реализованы на практике были лишь в 60-70-е годы, после обнаружения эффективной люминесценции полупроводниковых соединений типа $A^{III}B^V$ - фосфида и арсенида галлия и их твердых растворов. В итоге на их основе были созданы светодиоды и таким образом заложен фундамент новой отрасли техники - оптоэлектроники [2].

Эффективные светодиоды для зеленовато-голубой, голубой, синей и фиолетовой частей спектра были созданы в 90-е годы. Производятся они на основе полупроводников со значительной шириной запрещенной зоны: карбида кремния SiC, соединений группы $A^{II}B^{VI}$, нитридов группы $A^{III}B^V$. У излучателей на основе ZnSe ($A^{II}B^{VI}$) большой квантовый выход, но они имеют маленький срок работы, но имеют большое электрическое сопротивление. У карбид-кремниевых диодов очень мал КПД, так как SiC - непрямозонный полупроводник.[2]

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		8

В последние годы был сделан настоящий прорыв в разработках голубых и зеленых светодиодов. В приборах на основе нитрида галлия и его твердых растворов GaN , $In_xGa_{1-x}N$, $Al_xGa_{1-x}N$ внешний квантовый выход увеличен до $\eta_e = 9-16\%$ [2]. Светоотдача диодных излучателей из разных материалов для всех основных цветов превысила светоотдачу ламп накаливания. Диоды стали приборами и оптоэлектроники, и светотехники.

1.2 Строение светодиодов



Рисунок 1.1 — Строение 5мм светодиода

Светодиод рисунок 1.1 представлен двумя выводами – анодом и катодом. Катод крепится к алюминиевому параболическому рефлектору (отражателю). Внешне он представляет собой чашеобразное углубление. На дне располагают светоизлучающий кристалл.

Активный элемент представлен полупроводниковым монокристаллом (в 5 мм светодиодах он выполнен в виде кубика-чипа). Размеры небольшие -

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		9

0,3*0,3*0,25 мм. Он содержит p-n переход или гетеропереход и омический контакты.

Кристалл соединяется с анодом перемычкой, произведенной из золотой проволоки. Полимерный корпус - фокусирующая линза. Она с рефлектором и определяют угол излучения (диаграмма направленности) светодиода.

На следующем этапе разработок перешли к многослойным гетероструктурам GaN/ /Ga_{1-x}In_xN с нелегированным активным слоем Ga_{1-x}In_xN толщиной до 2-3 нм. Физические принципы, ранее использованные при создании приборов на основе GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs и GaAs/In_xAl_yGa_{1-x-y}P, послужили применительно к новым структурам [2].

В сверхтонких слоях влияют эффекты размерного квантования - зависимости энергетического спектра электронов и дырок от толщины слоя, когда толщина слоя сравнима с длиной волны де Бройля. Таким образом, открылась возможность регулировать цвет свечения, изменяя не состав полупроводника, а толщину потенциальной ямы, называемой в этих условиях квантовой.

Было крайне важно разработать технологию выращивания новых структур, обеспечивая на границах минимальное число дефектов. Помогло то, что в сверхтонких слоях несоответствие параметров решетки в определенных случаях вызывает на гетерограницах лишь упругую деформацию растяжения или сжатия. А чисто упругая деформация не сопровождается образованием дислокаций и дефектов - центров безызлучательной рекомбинации.

Структура светодиода с множественными квантовыми ямами представляет собой довольно сложный “пирог” рисунок 1.2. На сапфировой подложке, после буферного слоя AlN (толщиной 30 нм), выращен относительно толстый (4 мкм) слой n-GaN:Si. Затем идет активный нелегированный слой, состоящий из пяти чередующихся квантовых ям In_xGa_{1-x}N (3-4 нм) и барьеров GaN (4-5 нм). Эффективная ширина запрещенной зоны квантовых ям In_xGa_{1-x}N соответствует излучению от

					Лис
					10
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат	

БР-02069964-11.03.04-15-18

голубой до желтой области (450-580 нм), если состав активного слоя меняется в пределах $x = 0.2-0.4$; она зависит и от толщины d . Расположенный выше барьерный широкозонный слой $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N:Mg}$ (100 нм) инжектирует дырки и согласует решетку с решеткой верхнего слоя $p\text{-GaN:Mg}$ (0.5 мкм), на который нанесен металлический контакт Ni-Au. Второй металлический контакт (Ti-Al) с нижним слоем $n\text{-GaN}$ создается после стравливания части структуры.[2] Путем выбора полупроводникового материала и присадки можно целенаправленно воздействовать на характеристики светового излучения светодиодного кристалла, прежде всего на спектральную область излучения и эффективность преобразования подводимой энергии в свет.

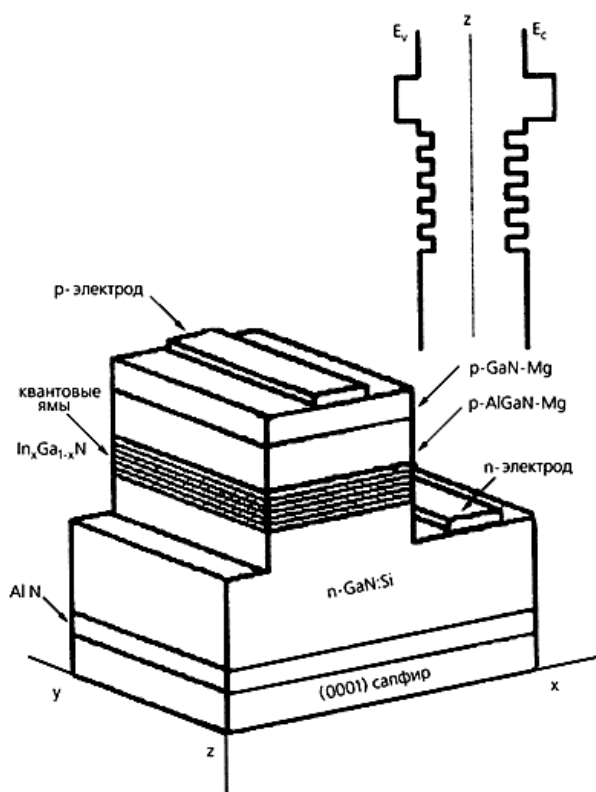


Рисунок 1.2 — Схема светодиода на основе гетероструктур типа InGaN/AlGaN/GaN с множественными квантовыми ямами.

Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат

БР-02069964-11.03.04-15-18

При использовании конверсионного люминофора (желтого) и голубого светодиода можно получить белое излучение рисунок 1.3. При использовании ультрафиолетового диода и трех люминофоров (R/G/B) возможно также получение белого излучения[4] рисунок 1.4.

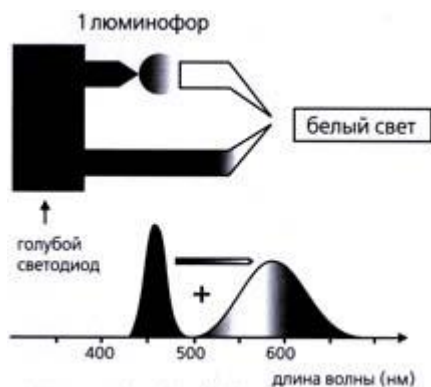


Рисунок 1.3 — Голубой светодиод с желтым люминофором

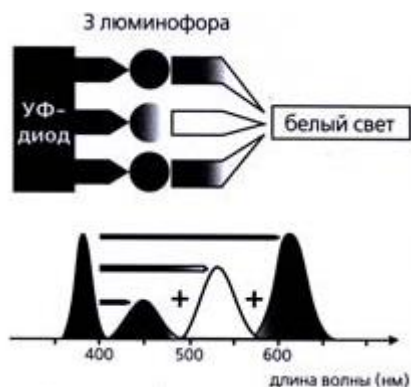


Рисунок 1.4 — Ультрафиолетовый диод с тремя люминофорами

1.3 Управление светодиодами постоянным током

Путем решения проблемы разного прямого напряжения V_f при одинаковом токе является использование для управления постоянного тока, а не напряжения. Для поддержания постоянного тока, а, следовательно, и силы

света, драйвер светодиода автоматически подстраивает выходное напряжение. Такой подход можно использовать в случае единичного твердотельного излучателя или при их последовательном соединении. Если ток через все светодиоды одинаков, то, несмотря на различия в V_f , они будут иметь одинаковую яркость рисунок 1.5 [5].

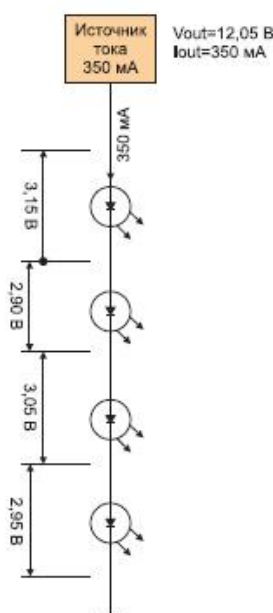


Рисунок 1.5 — Цепочка светодиодов

Если излучатели прогрелись до рабочей температуры, то для поддержания величины тока неизменной, источник постоянного тока автоматически уменьшит напряжение управления. Это делает их яркость, не зависящей от температуры.

Еще одним значительным преимуществом является то, что источник стабильного тока не позволяет какому-то отдельному светодиоду в цепи быть перегруженным. Это гарантирует, что все они будут иметь большой срок службы. Если один из полупроводниковых излучателей окажется пробитым (накоротко замкнутым), то остальные продолжают функционировать с корректным рабочим током.

1.4 Источники стабильного постоянного тока

Простейшим источником постоянного тока является генератор постоянного напряжения, управляющий светодиодом через резистор. Если падение напряжения на сопротивлении примерно равно прямому напряжению на светодиоде. Такое решение очень дешево, но обладает плохими характеристиками регулирования тока и весьма расточительно по мощности. Многие дешевые светодиодные лампы типа кластера, предлагаемые в качестве замены низковольтных галогенных ламп, используют этот метод. В случае замыкания в одном из светодиодов резистор перегорит относительно быстро и таким же относительно коротким будет время жизни всего кластера [6].

Другим простейшим источником постоянного тока является его линейный регулятор. На рынке доступны несколько дешевых драйверов светодиодов, использующих этот метод. Для этой же цели могут применяться и линейные стабилизаторы напряжения, работающие в режиме постоянного тока. Внутренняя обратная связь поддерживает управляемый ток внутри 5%-го коридора, но тепловая мощность выделяется в виде тепла, и для ее рассеяния требуется хороший теплоотвод. Плохая эффективность этого метода слабо согласуется с принципом высокой эффективности твердотельного освещения.

Лучшим источником постоянного тока является импульсный стабилизатор (switching regulator). Цена такого драйвера выше, чем у других решений, но точность в широком диапазоне нагрузок находится в пределах 3%, а эффективность преобразования превышает 96%, это означает, что только 4% энергии растрачивается бесполезно и устройство может работать при высоких температурах окружающей среды (рисунок 1.6).

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		14

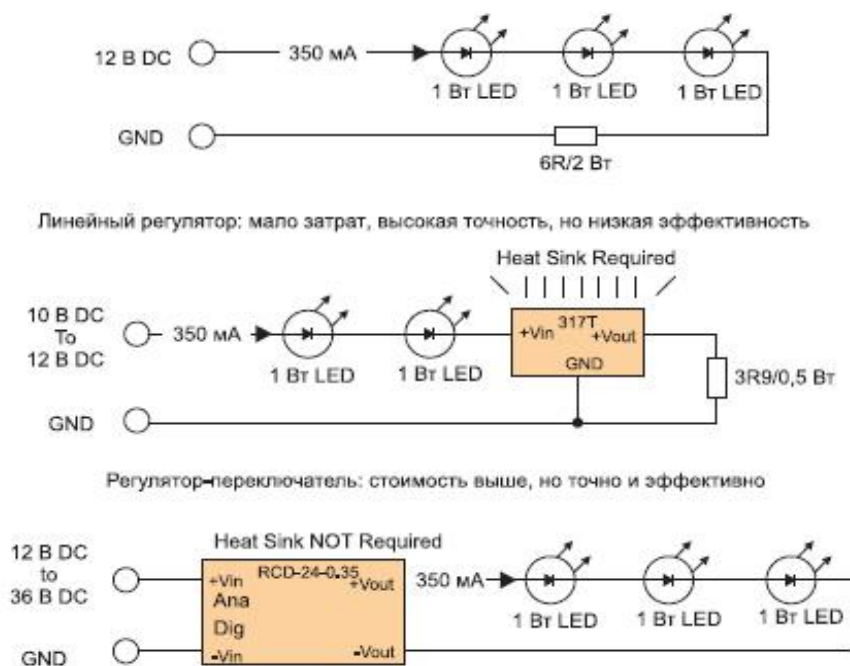


Рисунок 1.6 — Примеры источников стабильного тока для светодиодов

Одно важное отличие между альтернативными подходами, приведенными выше, — диапазон входного и выходного напряжений.

Так, DC/DC-регулятор-переключатель имеет большой диапазон входных и выходных напряжений, в котором он обеспечивает стабильный ток (например, RCD-24.0.35 при изменении постоянного напряжения от 5 до 36 В может давать на выходе 2–34 В). Большой диапазон выходных напряжений позволяет использовать различные комбинации светодиодных линеек, но кроме того дает возможность в широких пределах регулировать яркость.

Два других альтернативных решения, приведенных выше, в случае, если нужен только один светодиод, приведут к проблемам с рассеиваемой мощностью, поскольку падение напряжения на резисторе или регуляторе будет больше, соответственно вырастут и потери энергии. Диапазон входных напряжений также ограничен по тем же соображениям.

1.5 Виды соединений светодиодов

Большинство мощных белых светодиодов разрабатываются на рабочий ток 350 мА. Происходит это потому, что по законам химии их прямое напряжение должно быть порядка 3 В, а $3,0 \times 0,35 \approx 1 \text{ Вт}$, что является удобной для светодиодов мощностью. Большинство DC/DC-драйверов стабильного тока для твердотельных излучателей света являются дробящими или понижающими (buck or step-down) преобразователями. Это означает, что максимальное выходное напряжение меньше, чем входное.

Если входное напряжение нельзя менять (например, батарея), то максимальное число светодиодов должно быть сокращено в зависимости от минимального значения доступного входного напряжения.

Два излучателя — это не слишком много, что бы обойти данную проблему можно, используя повышающий преобразователь, у которого выходное напряжение превышает входное, или поставить в параллель две или более цепочки. Для каждой из них драйвер будет обеспечивать требуемые 350 мА; две, включенные в параллель, будут снабжаться током 700 мА, три — 1,05 А и т. д. Следовательно, выбор источника питания для светодиодов должен учитывать доступное входное напряжение и число цепочек, которыми необходимо управлять. На рисунке 1.7, рисунок 1.8, рисунок 1.9 показаны некоторые варианты подключения типичных одноваттных белых светодиодов к 12-В источнику постоянного напряжения.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		16

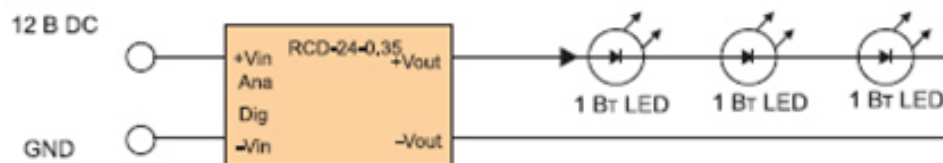


Рисунок 1.7 — Три светодиода включены последовательно

Достоинства : высокая точность задания тока, безопасность при отказе

Недостатки: малое число излучателей в цепочке

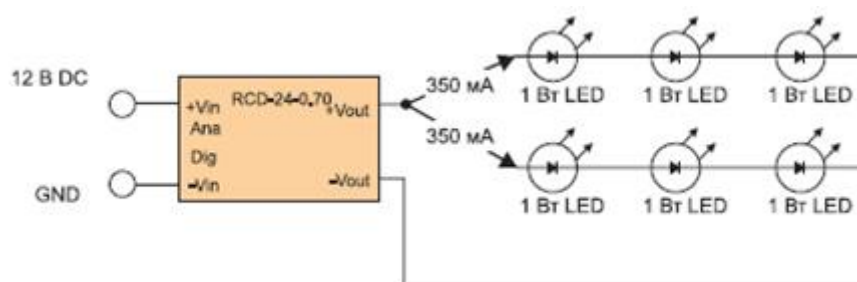


Рисунок 1.8 — Шесть светодиодов в двух параллельных цепочках

Достоинства: удвоенное число излучателей

Недостатки: безопасность при отказе не обеспечивается, несбалансированность токов в цепочках

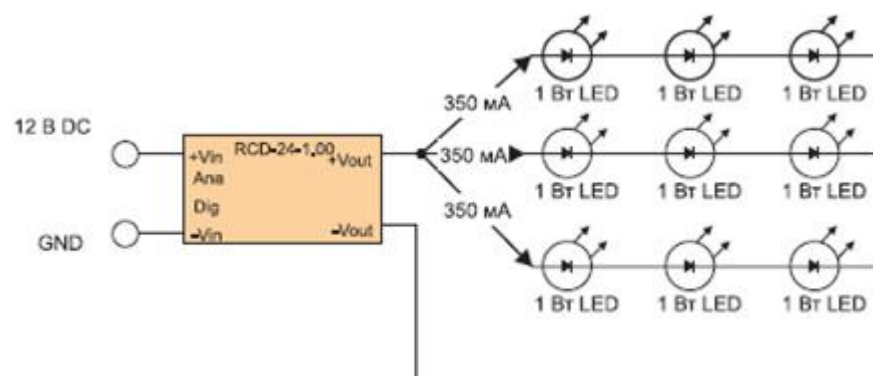


Рисунок 1.9 — Девять светодиодов в трех цепочках

Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат

Достоинства: утроенное число излучателей

Недостатки: безопасность при отказе не обеспечивается, несбалансированность токов в цепочке

Наиболее безопасным и надежным методом является подключение к драйверу одной цепочки светодиодов. Если какой-то излучатель выйдет из строя и разомкнет цепь, подача тока к остальным прекратится. Если же один из них выйдет из строя и станет короткозамкнутой цепью, то оставшиеся по-прежнему будут снабжаться тем же током.

Достоинством управления многими светодиодами с помощью одного драйвера является большое число излучателей, а недостатком — незащищенность в случае отказа. В случае двух параллельных цепочек при таком отказе светодиода, когда он разрывает цепь, все те же постоянные 700 мА потекут через оставшуюся цепочку, которая спустя весьма короткое время также выйдет из строя. При трех параллельно включенных линейках в случае отказа одного излучателя две оставшиеся цепи будут делить между собой ток равный 1 А. Обе окажутся перегруженными током в 500 мА. Возможно, что некоторое время они смогут работать, но это будет зависеть от качества теплоотвода, со временем большой ток вызовет отказ другого светодиода, после чего третья цепочка примет на себя весь ток в один ампер и почти сразу же выйдет из строя [7].

Если же какой-то светодиод откажет и превратится в короткозамкнутую цепь, это вызовет перераспределение токов между цепями, но самый большой потечет через цепь, в котором прибор вышел из строя. В конце концов последняя откажет и вызовет «эффект домино», аналогичный описанному выше.

Мощные светодиоды надежны, поэтому описанные выше отказы могут происходить не слишком часто. Исходя из этого, большинство разработчиков твердотельного освещения выбирают удобный и дешевый вариант питания нескольких цепочек светодиодов от одного драйвера, хотя и признают риск того, что при отказе одного из строя выйдут и многие другие излучатели [8].

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		18

1.6 Типы стабилизаторов напряжения и тока для питания светодиодов

В радиоэлектронике чаще всего используются, два типа стабилизаторов: линейные и импульсные.

1.6.1 Линейные стабилизаторы

Линейные стабилизаторы действуют по принципу резистора: ограничивают протекающий через ключевой элемент (транзистор) ток так, чтобы напряжение (или ток) в нагрузке оставались постоянными. При этом часть полезной мощности теряется (выделяется в виде тепла на регулирующем транзисторе). В некоторых случаях эта "часть" может быть весьма значительной. Например, при входном напряжении 10 В и выходном 2,5 В падение напряжения на транзисторе составляет 7,5 В, т.е. 75% энергии источника питания тратится на паразитный разогрев транзистора и только 25% выполняют полезную работу.

Еще хуже обстоит дело с регулируемыми источниками питания, когда для большего диапазона изменения выходного напряжения разработчик пытается сделать входное напряжение больше. В таких случаях при минимальном выходном напряжении КПД источника питания может снижаться до единиц процента

Резистор является элементом, ограничивающий ток, протекающий через светодиод. Но сопротивление 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.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		19

Простейший линейный стабилизатор тока можно собрать на широко распространенных микросхемах типа КР142ЕН12(А), LM317 (и их многочисленных аналогах), как показано на рисунке 1.10.

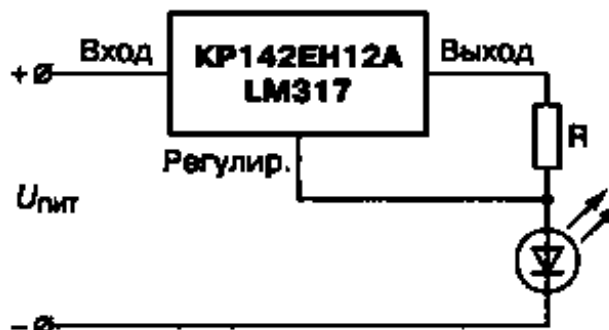


Рисунок 1.10 — Схема простейшего линейного стабилизатора тока

Резистор R выбирается в пределах $0,25 \div 125$ 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, надежностью и дешевизной. 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 КР142ЕН22А / 24А/ 26А.

Но у линейных стабилизаторов тока есть существенные недостатки:

- ◆ низкий КПД;
- ◆ большие потери сильный нагрев при регулировке больших токов
- ◆ необходимость в радиаторе для охлаждения при мощности $> 200-300$

мВт

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		20

1.6.2 Импульсные стабилизаторы

Из-за недостатков линейных стабилизаторов применяются импульсные преобразователи и стабилизаторы для питания светодиодов и светодиодных модулей. На рисунке 1.11 представлены внешний вид светодиодного модуля и вторичной оптики. Следует отметить, что светодиоды и преобразователь питания конструктивно выполнены на единой плате.

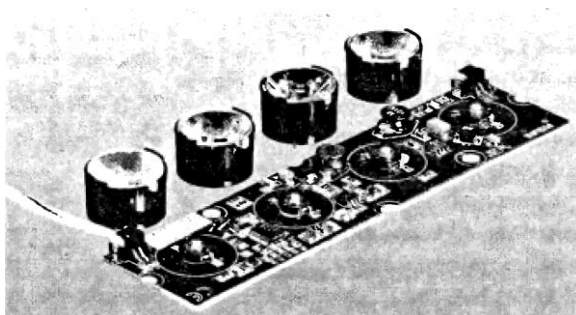


Рисунок 1.11 — Внешний вид светодиодного модуля и вторичной оптики

Импульсные стабилизаторы, способны трансформировать напряжение в ток и наоборот. КПД такого источника тока, независимо от величины входного (выходного) напряжения, практически постоянен и составляет, в зависимости от схемы и используемых комплектующих, до 80...95%. Благодаря столь высокому КПД облегчается тепловой режим устройства: его компоненты практически не греются, и там, где раньше приходилось использовать громоздкие радиаторы-теплоотводы и вентиляторы, удастся обойтись одной маленькой пластинкой или вообще "голым" корпусом транзистора. Уменьшается также потребляемый устройством ток, что очень важно при автономном режиме работы.

Чем выше рабочая частота преобразователя, тем меньших размеров могут быть его самые габаритные детали — катушка индуктивности (дрессель или трансформатор) и фильтрующие конденсаторы. Образно

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		21

говоря, за 1 такт сердечник дросселя или трансформатора может накопить небольшое количество энергии определенной величины, и объем не зависит от рабочей частоты. То есть, повысив рабочую частоту, в 10 раз, можно за то же время "передать" в нагрузку в 10 раз большую мощность при том же размере катушки и сердечника. Поэтому, если обычный 50-герцовый трансформатор мощностью 270 Вт (ТС-270) весит более 5 кг и размером с 3-литровую банку, то импульсный трансформатор на 300 Вт, работающий на частоте 30 кГц, всего лишь с 3-4 спичечных коробка.

К сожалению, частоту нельзя повышать бесконечно: для большинства недорогих ключевых транзисторов максимальная рабочая частота не превышает 100...300 кГц, а у ферритовых сердечников на частотах выше 30...100 кГц сильно увеличиваются потери из-за вихревых токов внутри сердечника. Поэтому оптимальная рабочая частота для импульсного источника тока — 30...50 кГц. Она достаточно высока для того, чтобы человек не слышал писка при его работе (максимальная слышимая частота не превышает 20 кГц), и, в то же время, потери на такой частоте еще достаточно малы.

Однако у импульсных стабилизаторов есть и недостатки. Главный из них кроется в самом принципе действия. Стабилизатор работает в импульсном режиме и на довольно высокой частоте, поэтому он излучает весьма мощные электромагнитные (радиоволны) и электрические (пульсации напряжения) помехи. Избавиться от них очень сложно. Поэтому применять импульсные стабилизаторы целесообразно только там, где нагрузка потребляет значительный ток или мощность (более 10...20 Вт), есть большая разница между входным и выходным напряжениями (минимум в 2...5 раз), а нагрузка сравнительно нечувствительна к помехам и пульсациям (заряжаемый аккумулятор, лампочка, электромотор и др.).

Импульсный стабилизатор состоит из пяти частей:

- Схемы управления;
- Ключевого транзистора;

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		22

- Дросселя (катушки индуктивности с магнитным сердечником, чаще ферритовым);
- Фильтрующих конденсаторов;
- Обратного диода, в качестве которого для небольшого увеличения КПД (и значительного уменьшения нагрева корпуса) можно использовать мощный транзистор.

В зависимости от того, как соединены эти элементы, импульсный источник питания может повышать, понижать, а также инвертировать полярность напряжения. Также известны трансформаторные импульсные преобразователи, но они менее распространены и используются, в основном, там, где необходима гальваническая развязка (блоки питания и зарядные устройства с питанием от сети) или где нужно значительно (более чем в 3...10 раз) повысить напряжение.

Схема управления современных импульсных источников собирают на базе специализированных микросхем. Они сравнительно дешевы, обладают великолепными характеристиками и практически не требуют подключения внешних элементов и кропотливой настройки. Для управления полевыми транзисторами необходимы микросхемы с мощными выходами: для достижения максимального КПД транзистор должен быстро открываться (за время порядка сотен наносекунд), а у полевых транзисторов емкость затвора очень велика. Поэтому микросхема-драйвер полевого транзистора должна иметь полу мостовой выход, способный обеспечить ток 0,2...2,0 А. Чем выше рабочая частота, тем большим должен быть выходной ток. Этот ток потребляется транзистором кратковременно (пока не зарядится или разрядится емкость затвора), а все остальное время ток не потребляется. Поэтому более мощный драйвер не приведет к увеличению энергопотребления, а наоборот, КПД схемы только возрастет.

Схема повышающего преобразователя напряжения показана на рисунке 1.12 а. Во время рабочего хода, когда транзистор открыт, катушка запасает энергию. Ее можно представить как батарейку (конденсатор),

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		23

положительный полюс которой — вверху схемы Рисунке 1.12 б. Диод при этом закрыт, постоянное напряжение на выходе поддерживается конденсатором. После запираания транзистора полярность напряжения на выводах катушки из-за ЭДС самоиндукции меняется на противоположную, она суммируется с напряжением питания и через открывшийся диод подзаряжает конденсатор рисунок.1.12 в . Таким способом, можно получить сколь угодно большое напряжение, но обычно оно не превышает несколько сотен вольт из-за потерь, как в самой катушке, так и в других элементах схемы.

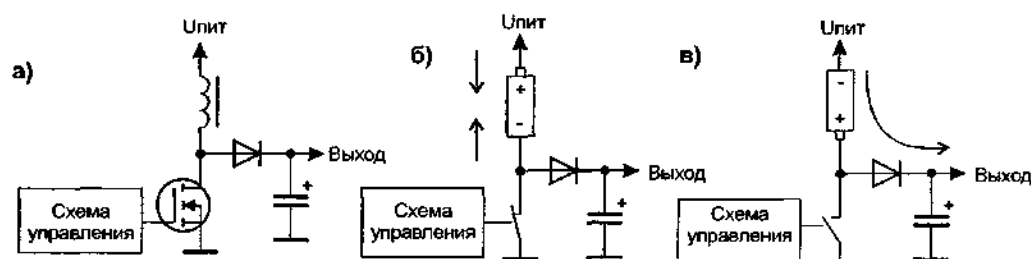


Рисунок.1.12 — Схема повышающего преобразователя

При сборке такой схемы нужно уделить особое внимание надежности элементов и монтажа. Транзистор, конденсатор и диод в этой схеме должны быть рассчитаны на максимальное выходное напряжение плюс 10...20 В запаса.

Поскольку рабочая точка регулирующего прибора почти все время находится в области насыщения или отсечки, минуя активную область, в транзисторе рассеивается мало тепла, а значит, КПД импульсного стабилизатора высок.

Стабилизация реализована путем изменения длительности импульсов или управления частотой их следования. Соответственно, различают широтно-импульсное (ШИ) или частотно-импульсное (ЧИ) регулирование.

Иногда импульсные стабилизаторы работают в смешанном широтно-частотно-импульсном режиме (ЧШИ).

В стабилизаторах с ШИ-регулированием частота следования импульсов постоянна, а длительность импульсов непостоянна. В стабилизаторах с ЧИ-регулированием длительность импульсов неизменна, а варьируют частоту.

После регулирующего прибора напряжение имеет импульсную форму, а значит непригодно для непосредственного питания нагрузки. Прежде чем подать напряжение на нагрузку, его необходимо сгладить, для чего на выходе всех импульсных стабилизаторов устанавливают сглаживающие индуктивно-емкостные фильтры. Фильтры могут быть многосвязными, П-образными, Г-образными и других видов.

Усредненное напряжение, приложенное к нагрузке, можно найти по формуле:

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{T_{\text{и}}} \cdot \int_0^{t_{\text{и}}} R_{\text{н}} \cdot I(t) dt$$

где $T_{\text{и}}$ — длительность периода, с;

$t_{\text{и}}$ — длительность импульса, с;

$R_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки, Ом;

$I(t)$ — величина тока, протекающего через нагрузку, А.

В зависимости от индуктивности сглаживающего дросселя ток через LC-фильтр может перестать течь к началу очередного импульса (тогда говорят о режиме работы с разрывным током) или продолжать течь, и в этом случае подразумевают режим работы с неразрывным током.

Если нагрузка требовательна к пульсациям напряжения, то предпочитают режим неразрывных токов, мирясь с обычно большими затратами провода обмотки дросселя. Если величина пульсации выходного напряжения незначительна, то целесообразна работа в режиме разрывных токов.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		25

2 Разработка структурной и функциональной схем стабилизатора тока

2.1 Структурная схема стабилизатора тока

Принцип действия импульсных стабилизаторов напряжения

В общем случае импульсный стабилизатор состоит из импульсного преобразователя, содержащего регулирующий прибор; задающего генератора, управляющего преобразователем; сглаживающего фильтра, уменьшающего пульсации выходного напряжения, и устройства сравнения, вырабатывающего разностный сигнал между выходным и опорным напряжениями.

Соединение основных блоков отражено на структурной схеме импульсного стабилизатора тока, показанной на рисунок 2.1.

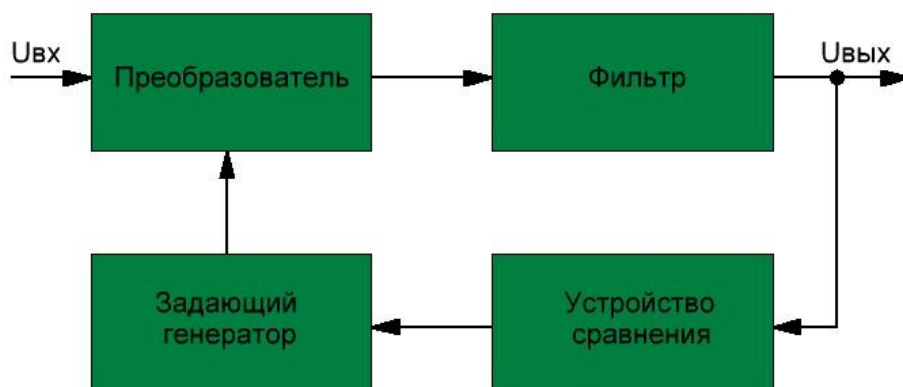


Рисунок 2.1 — Импульсный стабилизатор напряжения

Выходное напряжение стабилизатора подают на устройство сравнения с образцовым напряжением и на выходе устройства получают сигнал, пропорциональный разности этих напряжений. Разностный сигнал сразу же

подают на задающий генератор или вначале увеличивают его усилителем постоянного тока.

При ШИ-регуливании в задающем генераторе аналоговый разностный сигнал преобразуют в импульсы с фиксированной частотой и изменяемой длительностью, а при ЧИ-регуливании длительность импульсов постоянна, а в зависимости от параметров сигнала изменяют частоту генерируемых импульсов.

Выработанные задающим генератором импульсы управления поступают на компоненты преобразователя, регулирующей транзистор которого работает в ключевом режиме. Варьируя частоту или ширину импульсов генератора, можно изменять напряжение на нагрузке. В зависимости от параметров импульсов управления, преобразователь корректирует величину выходного напряжения, стабилизируя его. Теоретически в стабилизаторах с ШИ- и ЧИ-регуливанием пульсации напряжения на нагрузке могут полностью отсутствовать.

При релейной стабилизации сигнал, управляющий преобразователем напряжения, вырабатывается триггером. При подаче постоянного напряжения на вход стабилизатора ключевой транзистор преобразователя открыт, и возрастает выходное напряжение. Устройство сравнения вырабатывает разностный сигнал, который, достигая определенного верхнего порога, изменит состояние триггера, и он переключит регулирующей транзистор в состояние отсечки. Выходное напряжение стабилизатора начнет снижаться. При достижении нижнего порога устройство сравнения вырабатывает разностный сигнал, который вновь переключит триггер, и регулирующей транзистор войдет в состояние насыщения. Напряжение на нагрузке стабилизатора начнет возрастать. Таким образом, при релейной стабилизации выходное напряжение постоянно флюктуирует, и его среднее значение соответствует номинальному напряжению. Порог срабатывания триггера устанавливают корректировкой амплитуды напряжения на выходе устройства сравнения.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		27

Релейные стабилизаторы обладают более высоким быстродействием по сравнению со стабилизаторами с ШИ- и ЧИ-регулированием, что является достоинством. Теоретически при релейной стабилизации всегда в выходном напряжении будут присутствовать пульсации, что относят к недостаткам.

2.2 Обзор микросхемы MP2481 стабилизатора тока для мощных светодиодов

Импульсные управляемые стабилизаторы тока MP2481 производства фирмы Monolithic Power предназначены для питания мощных светодиодов стабилизированным током до 1,2 А в условиях изменения напряжения питания в широких пределах — 4,5 – 36В (MP2481 -36В, 1,2А, 1,4 МГц (MP2481 - 36 V 1.2 A, 1.4 MHz White LED Driver Buck/Boost Halogen Replacement. В зависимости от текущего значения напряжения питания стабилизатор автоматически выбирает режим понижения или повышения напряжения. В приборе предусмотрена возможность управления стабилизированным током.

Преимущественная область применения – светодиодные осветительные приборы со стабилизацией яркости излучения и возможностью управления ею, например, панели светодиодной подсветки, в том числе в компьютерных мониторах, ноутбуках, цифровых фотоаппаратах и видеокамерах, приборах спутниковой навигации, мультимедийных плеерах. Стабилизатор MP2481 обеспечивает стабильную яркость питаемых светодиодов независимо от снижающегося напряжения химических источников тока.

Микросхемы MP2481 выпускают в восьмивыводном пластмассовом корпусе MSOP8 (рисунок 2.2), предназначенном для поверхностного монтажа; выводы плоские луженые. Цоколевка микросхемы представлена в таблице 1.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		28

Таблица 1 цоколевка микросхемы

Номер вывода	Обозначение	Функциональное назначение
1	Vdd	Плюсовой вывод питания
2	Vss	Минусовой вывод питания; общий вывод
3	OVP	Вход сигнала ОС по выходному
4	FB	Вход сигнала ОС по току нагрузки
5	EN/DIM	Вход сигнала управления током нагрузки
6	INGND	Общий вывод для входа
7	BST	Вход вольтодобавки
8	SW	Выход (к истоку коммутирующего транзистора)

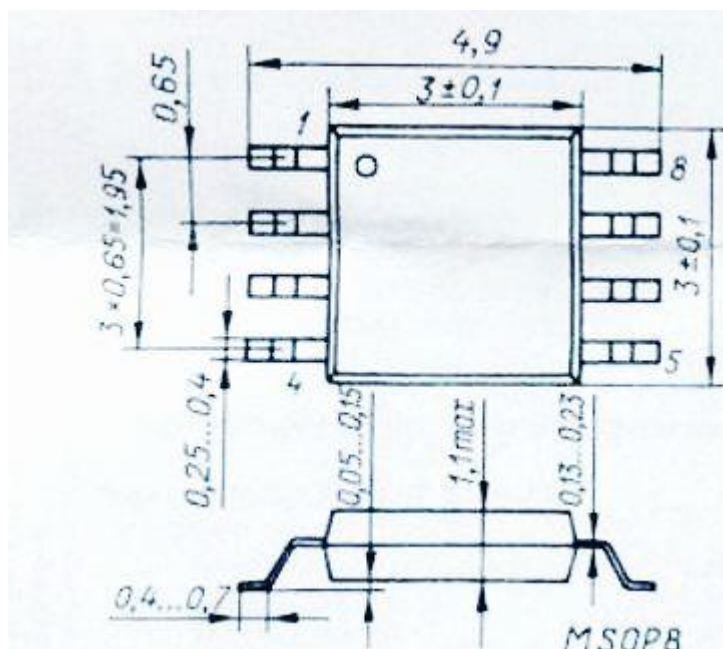


Рисунок 2.2 — Восьмивыводной пластмассовый корпус MSOP8

Упрощенная функциональная схема прибора показана на рисунке 2.3. Микросхема содержит устройство управления яркостью нагрузочных светодиодов DA1, тактовый генератор G1, формирователь пилообразного напряжения DA2, сумматор DA3, усилитель сигнала ошибки DA4, компараторы DA5—DA7, RS-триггер DD1, источники образцового

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дат
------	------	----------	--------	-----

БР-02069964-11.03.04-15-18

Лист

29

напряжения трех значений G2—G4, стабилизатор напряжения DA8, буферный усилитель DA9, мощный n-канальный переключательный полевой коммутирующий транзистор VT1 (шунт RS1 — датчик тока нагрузки, дифференциальный усилитель DA10.

Для работы импульсного стабилизатора тока необходим внешний дроссель, который накапливает энергию, когда транзистор VT1 открыт, и отдает ее в нагрузку, когда этот транзистор закрыт. После включения питания импульсы тактового генератора G1 устанавливают триггер DD1 в единичное состояние. Транзистор VT1 открывается и пропускает ток во внешний дроссель, который в это время накапливает магнитную энергию.

Транзистор VT1 открыт до тех пор, пока триггер DD1 находится в этом состоянии. Триггер DD1 переключается, когда напряжение на входе FB, поступающее с датчика тока нагрузки, превысит 0,2 В. Так стабилизируется ток через светодиоды. Также триггер DD1 переключается в нулевое состояние сигналом превышения напряжения на входе OVP, сигналом с формирователя пилообразного напряжения DA2, сигналом с выхода дифференциального усилителя DA10, если ток стока транзистора VT1 превысит 2 А.

Управляют стабилизатором MP2481 подачей напряжения на вывод OUP относительно общего вывода Vss. Если это напряжение меньше 0,4 В, тактовый генератор вырабатывает пониженную частоту 120 кГц. Нормальному режиму работы прибора соответствуют пределы 0,4.. 1,23 В. С превышением верхнего предела стабилизатор отключается, транзистор VT1 закрывается. Напряжение ОС на вход OVP подают с резистивного делителя выходного напряжения блока питания, в составе которого работает стабилизатор MP2481.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		30

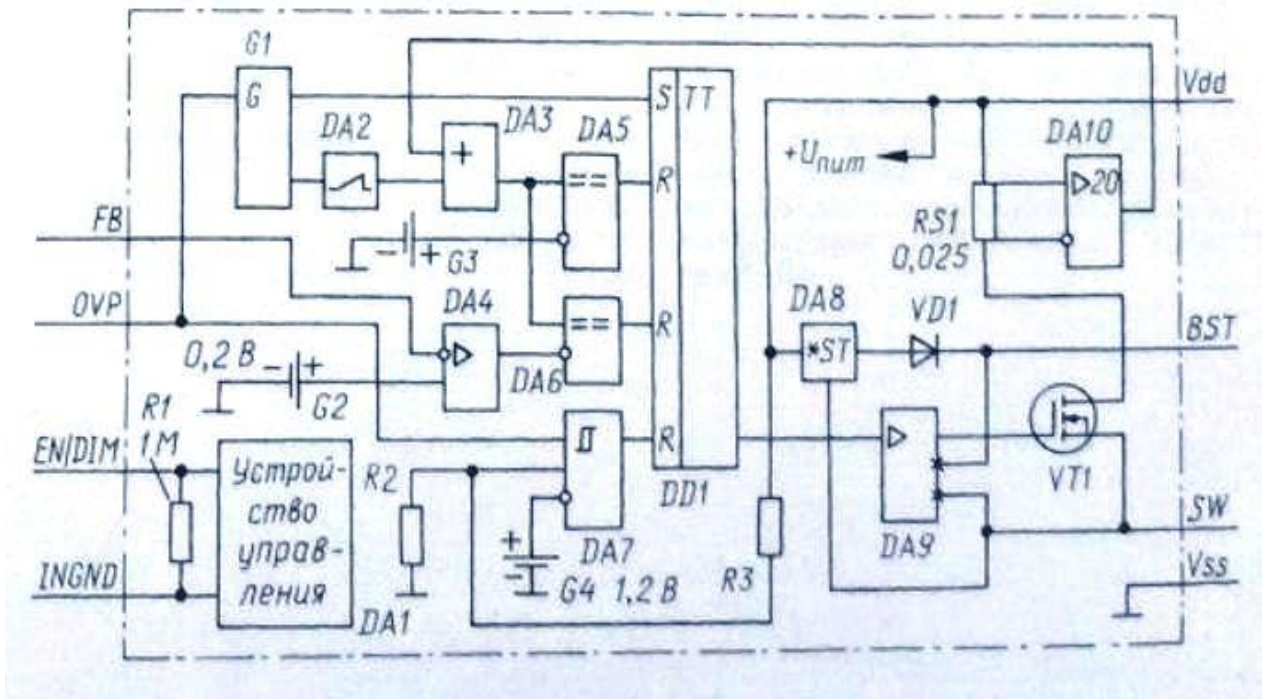


Рисунок 2.3 — Упрощенная функциональная схема прибора

Типовая схема включения стабилизатора MP2481 в режиме понижения напряжения показана на рисунок 2.4. Здесь L1 — накопительный дроссель, VD1 переключаемый диод Шоттки, C3 — сглаживающий конденсатор, C2 — конденсатор вольтодобавки, EL1 — нагрузка — мощный светодиод (их может быть несколько, соединенных последовательно), резистор R1 — датчик тока нагрузки. Сопротивление резистора R1 подобрано для стабилизации тока на уровне 1 А. Цепь R2R3 — резистивный делитель, предназначенный для отключения стабилизатора в случае превышения напряжения питания.

Когда переключаемый транзистор стабилизатора открыт, диод VD1 закрыт, через дроссель L1 и светодиод EL1 течет линейно увеличивающийся ток. Дроссель L1 накапливает магнитную энергию. Как только падение напряжения на датчике тока — резисторе R1 — превысит 0.2 В, транзистор закрывается, диод VD1 открывается и ток через светодиод EL1 поддерживает

Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат

БР-02069964-11.03.04-15-18

Лис

31

энергия, накопленная дросселем L1. Через элементы L1, VD1, EL1 течет линейно уменьшающийся ток.

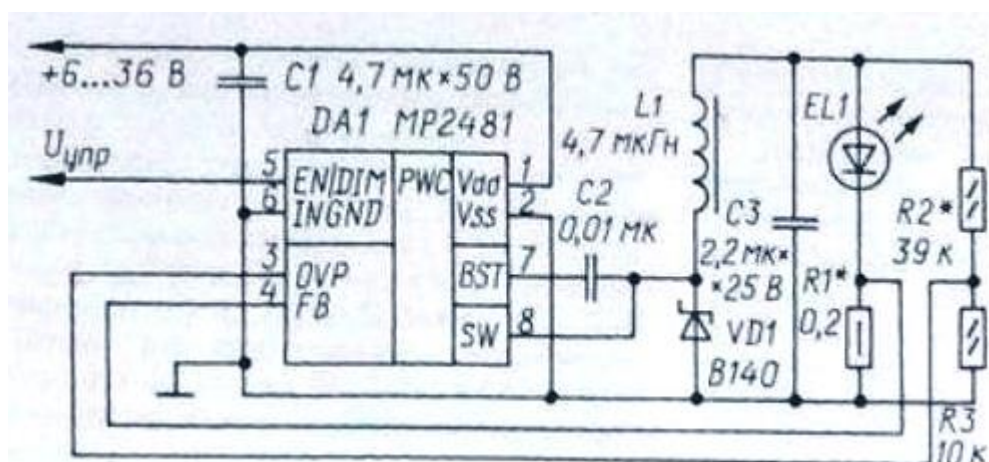


Рисунок 2.4 — Типовая схема включения стабилизатора MP2481

В момент, когда этот ток уменьшается на ΔI , транзистор снова открывается и описанные процессы повторяются.

Сопротивление резистора R1 (Ом) рассчитывают по формуле:

$$R_1 = \frac{0,2B}{I} \quad (2.1)$$

где I — ток через нагрузку, А.

Максимальный ток через дроссель L1 равен:

$$I_{\max} = I + \frac{\Delta I}{2} \quad (2.2)$$

Ток через дроссель не должен уменьшаться до нуля. Рекомендуемое значение его пульсаций

$$\Delta I = 0,3I_{\max} \quad (2.3)$$

Максимально допустимое значение тока через дроссель L1. не вызывающего насыщения его магнитопровода и уменьшения индуктивности, должно быть больше I_{\max} не менее чем на 25 %.

Индуктивность дросселя L1 (мкГн) рассчитывают по формуле:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дат

$$L_1 = \frac{U_{\text{вых}} (U_{\text{пит}} - U_{\text{вых}})}{U_{\text{пит}} \cdot \Delta I \cdot f} \quad (2.4)$$

где $U_{\text{пит}}$ — минимальное напряжение питания, В; $U_{\text{вых}}$ — выходное напряжение (суммарное напряжение на светодиодах и резисторе R1 — датчике тока). В; ΔI — пульсация тока через дроссель L1, А; f — частота коммутации переключающего транзистора стабилизатора, МГц.

Фирма-производитель микросхем MP2481 рекомендует выбирать индуктивность дросселя L1 в пределах 3,3... 10 мкГн, Если вычисленное по формуле (4) значение превышает 10 мкГн, необходимо ограничить индуктивность этим значением и соответствующим образом изменить $U_{\text{пит}}$ и ΔI .

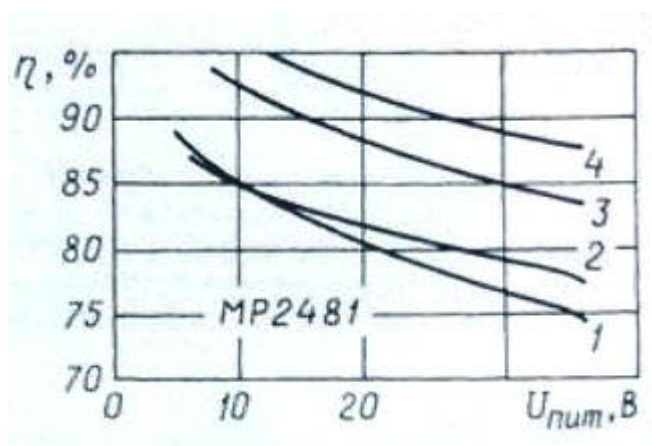


Рисунок 2.5 — Зависимость КПД стабилизатора от напряжения питания

На рисунке 2.5 изображена зависимость КПД стабилизатора от напряжения питания для случаев: один светодиод, ток 0,5 А (кривая 1). один светодиод, ток 1 А (2); два светодиода, ток 0,5 А (3); три светодиода, ток 0,5 А (4). КПД уменьшается при увеличении напряжения питания и возрастает с увеличением числа светодиодов.

Характеристика управления яркостью светодиода изменением тока через него (для случая кривой 2 на рисунке 2.5) представлена на рисунке 2.6.

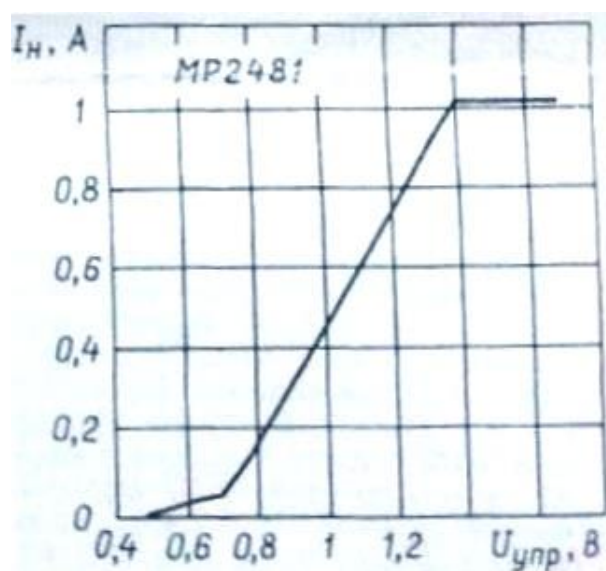


Рисунок 2.6 — Характеристика управления яркостью светодиода изменением тока

Управляющее напряжение подают на выводы 5 и 6 микросхемы. При 0,7 и 1,4 В на характеристике видны характерные изломы, между которыми зависимость практически линейная. Именно этот участок характеристики рекомендуется использовать на практике. В области малого тока (около 5 % от максимального) характеристика резко нелинейная, так как уменьшение управляющего напряжения ниже 0,7 В приводит к отключению микросхемы.

Если необходима линейность характеристики управления от нуля до максимального тока, рекомендуется управление прямоугольными импульсами, которые подают на эти же выводы. Низкий уровень импульсов должен соответствовать левой точке излома характеристики на рисунок 17 (0,7 В), а высокий - правой (1,4 В). Частота импульсов должна быть в пределах 100 –1000 Гц. Зависимость среднего тока через светодиод от коэффициента заполнения периодов импульсами практически линейна (рисунок 2.7)

Если яркость не падает до нуля, то при точной регулировке устройства уменьшают низкий уровень импульсов ниже 0,7 В, но не ниже напряжения отключения микросхемы, которое должно быть заранее измерено. Это

напряжение соответствует резкому уменьшению потребляемого микросхемой тока при снятии характеристики (см. рисунок 2.6) в сторону уменьшения управляющего напряжения.

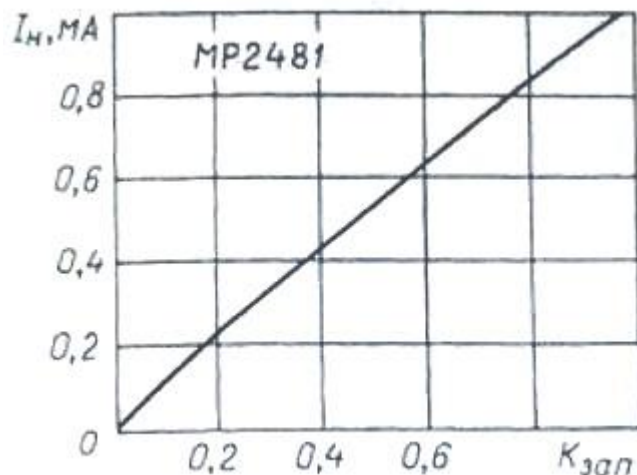


Рисунок 2.7 — Зависимость среднего тока через светодиод от коэффициента заполнения

Высокий уровень импульсного управляющего напряжения может быть выше 1,4 В — это не влияет на характеристику управления, но этот уровень должен быть ниже максимально допустимого напряжения 6 В. На практике достаточен высокий уровень импульсного напряжения 1,5...2 В. Такое же постоянное напряжение подают на выход EN/DIM, если управление по этому выходу не используется.

Другая типовая схема включения стабилизатора MP2481 для работы в режимах повышения и понижения напряжения показана на рисунке 2.8. Ее отличие от предыдущей схемы в том, что минусовый провод питания соединяют не с выводом U_{ss} стабилизатора, а с верхним по схеме выводом накопительного дросселя L1. Когда переключательный транзистор стабилизатора открыт, нарастающий ток течет через дроссель L1 к минусовому выводу питания, через светодиоды он не протекает.

Только после закрывания транзистора и открывания диода Шоттки VD1 накопленная дросселем L1 магнитная энергия расходуется на питание светодиодной цепи из N светодиодов (EL1—ELN). Поэтому КПД этого блока несколько меньше, чем предыдущего. Падение напряжения на цепи светодиодах может превышать напряжение питания.

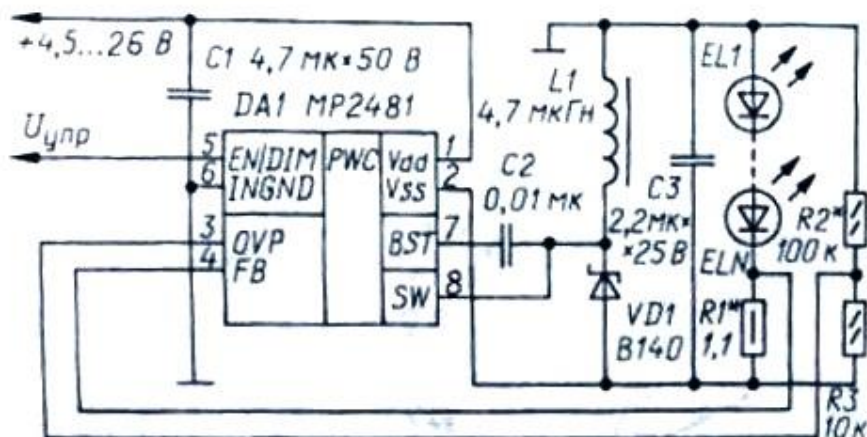


Рисунок 2.8 — Другая типовая схема включения стабилизатора MP2481

Зависимость КПД от напряжения питания для этого блока показана на рисунке 2.9. Кривая 1 соответствует питанию четырех светодиодов током 400 мА. Кривая 2 - трех светодиодов таким же током. Кривая 3 — 27 светодиодов — 9 параллельно соединенных цепей по три последовательно плюс выравнивающий резистор в каждой. Общий потребляемый ток — 180 мА.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дат



Рисунок 2.9 — Зависимость КПД от напряжения питания

Сопротивление выравнивающих резисторов в первоисточнике не указано. Для кривой 3 на рисунке 2.10 изображена зависимость тока через светодиоды от постоянного управляющего напряжения, а на рисунке 2.11 — среднего тока через них от коэффициента заполнения для импульсного управления яркостью. Легко заметить, что эти зависимости подобны показанным на рисунке 2.6 и 2.7 соответственно.

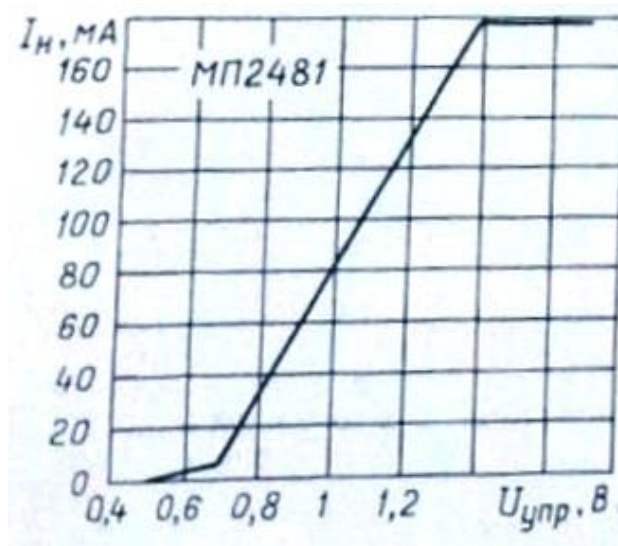


Рисунок 2.10 — Зависимость тока через светодиоды от постоянного управляющего напряжения

Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат

БР-02069964-11.03.04-15-18

Лис

37

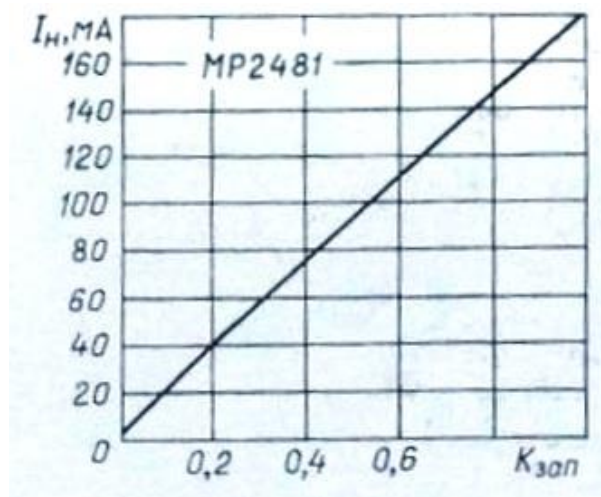


Рисунок 2.11 — Зависимость среднего тока через светодиоды от коэффициента заполнения для импульсного управления яркостью

Индуктивность дросселя L_1 для схемы включения по рисунку 2.8 рассчитывают по формуле:

$$L_1 = \frac{-U_{\text{вых}} \cdot U_{\text{пит}}}{(U_{\text{пит}} - U_{\text{вых}}) \cdot \Delta I \cdot f} \quad (2.5)$$

Обозначения и размерности те же, что и в формуле (2.4). Знак "минус" перед $U_{\text{вых}}$ поставлен только потому, что это напряжение имеет отрицательную полярность по отношению к общему проводу. Рекомендуемые пределы индуктивности дросселя L_1 — 3,3..22 мкГн. Если расчетная индуктивность выходит за указанные пределы, необходимо соответственно изменить параметры $U_{\text{пит}}$ и ΔI .

Если требуется только повышение напряжения, схема включения стабилизатора может быть той же, что показана на рисунке 2.8, но сопротивление резистора R_2 нужно изменить. Например, для случая питания описанной выше цепи из 27 светодиодов от батареи напряжением 4,5..9 В резистор R_2 заменяют другим, сопротивлением 39 кОм. В общем случае резистор R_2 подбирают так, чтобы стабилизатор отключался при требуемом максимальном напряжении питания.

Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат

Сопротивление R_L накопительного дросселя L1 на постоянном токе не должно превышать 0,2 Ом. Фирма-изготовитель стабилизаторов рекомендует применение дросселей поверхностного монтажа, параметры которых указаны в таблице 2.

Таблица 2 Параметры дросселей поверхностного монтажа

Фирма	Обозначение	Ом	Макс, ток, А	Размеры, мм
Toko	A921CY-4R7M	0.027	1.66	6x6.3x3
Sumida	CDRH4D28C/LD	0.036	1.5	5.5x5,1x3
Würth Electronics	7440530047	0,038	2	5.8x5,8x2.8

Эти дроссели удовлетворяют всем требованиям совместимости со стабилизаторами MP2481. Номинальная индуктивность всех дросселей — 4,7 мкГн. Конденсаторы должны иметь низкое ЭПС и практическую независимость емкости от температуры. Этим условиям соответствуют конденсаторы с диэлектриком из керамики X5P или X7R. Конденсаторы и резистор R1 — датчик тока — должны быть смонтированы как можно ближе к выводам микросхемы DA1.

2.3 Выбор элементной базы

Индуктивность

Индуктивность ограничивает динамику изменения тока на выходе драйвера и таким образом определяет величину высокочастотных пульсаций тока в светодиодах.

Значительное превышение тока в светодиодах над средним значением приводит к быстрой деградации кристалла светодиода и снижает ресурс работы светодиода. Особо сильные пульсации способны вывести светодиод

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		39

из строя за счет импульсного пробоя. Поэтому на этапе проектирования необходимо ограничить уровень пульсаций на выходе драйвера на безопасном для светодиодов уровне.

Ограничим уровень пульсации величиной 30% от величины среднего тока I_{LED_AV} (I_{LED_AV} — номинальный ток на выходе драйвера):

$$I_{LED_MAX} - I_{LED_MIN} = 30\% \cdot I_{LED_AV}.$$

Для поддержания выбранного уровня пульсаций тока в светодиодах (30%) потребуется использовать индуктивность следующего номинала:

$$L = V_{LEDx} \cdot t_{off} / (30\% \cdot I_{LED_AV}).$$

При этом пиковое значение тока в индуктивности, нормированное для каждого отдельно взятого индуктора, соответствует I_{LED_AV} и может быть определено по формуле:

$$I_L = I_{LED_AV} \cdot (1 + 0.5 \cdot 30\%).$$

На данном этапе важно определить доступность для заказа индуктора с полученными параметрами, а также его габаритные размеры и стоимость. Если требуемый индуктор недоступен, дорог либо слишком велик, необходимо провести коррекцию указанного выше расчета. Пытаться применять заказную индуктивность целесообразно только в случае безуспешности коррекции расчетов.

Токоизмерительный резистор R_1

При работе от встроенного источника 250 мВ (без использования входа LD) величина пикового значения тока в светодиодах, ограничиваемого драйвером, определяется номиналом резистора R_{SENSE} :

$$I_{LED_max} = 250 / R_{SENSE}.$$

Выбрав уровень пульсаций на выходе драйвера (30%), можно определить величину пикового тока на выходе драйвера:

$$I_{LED_max} = I_{LED_AV} \cdot (1 + 0.5 \cdot 30\%).$$

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		40

Требуемый средний ток на выходе драйвера (I_{LED_AV}) позволяет определить номинал резистора R_{SENSE} в схеме драйвера:

$$R_{sense} = 250 / I_{LED_max}$$

Мощность, выделяемая на датчике тока, может быть оценена величиной:

$$P_{SENSE} = I_{LED_AV} \cdot R_{SENSE} \cdot D.$$

Входной фильтрующий конденсатор

Входное постоянное напряжение прикладывается к входному конденсатору, номинал емкости которого C_{BULK} выбирается исходя из минимального значения выпрямленного напряжения и мощности, потребляемой драйвером из внешней питающей сети:

$$C_{BULK} = \frac{P_{AC}}{F_{AC}} \cdot dV \cdot dV,$$

Где

$$dV = V_{BULK_min} - (1.414 \cdot V_{AC_min}).$$

При этом уровень потребляемой из питающей сети мощности P_{AC} определяется как сумма мощностей потерь в драйвере и мощности, отдаваемой в светодиоды. Мощность потерь складывается из потерь в транзисторе, дросселе, обратном диоде и резисторах, а также мощности, потребляемой микросхемой MP2481.

Минимальное напряжение V_{AC_min} определяется в техническом задании на драйвер (нижний порог напряжения питания драйвера), а F_{AC} — номинальная частота переменного тока в питающей сети.

Напряжение V_{BULK_min} — сумма напряжений на выходе драйвера и падений напряжений на измерительном резисторе, открытом транзисторе и дросселе.

Вторым параметром, определяющим выбор конденсатора, является номинальное напряжение фильтрующего конденсатора.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		41

Необходимо помнить, что электролитические конденсаторы имеют паразитные параметры наиболее важный из которых — E_{SR} , или эквивалентное последовательное сопротивление которое приводит к нагреванию конденсатора при протекании импульсных токов. При выборе конденсатора необходимо убедиться в том, что он будет выдерживать максимальный импульсный ток при максимальной температуре, а его параметр E_{SR} стабилен в необходимом диапазоне частот (от 120 Гц до 100 кГц).

Эффективная последовательная индуктивность (E_{SL}) — другой паразитный параметр ограничивающий эффективность электролитического конденсатора на высоких частотах. Комбинация значений E_{SR} в нужном диапазоне температур и наличие большого E_{SL} могут потребовать дополнительного параллельного включения танталового конденсатора, который будет устранять высокочастотные выбросы напряжения. При этом снижается влияние E_{SL} во всем температурном диапазоне.

Выбор диода

Максимальное напряжение на диоде VD равно напряжению на входе схемы. Для увеличения надежности необходимо обеспечить запас в 50%:

Рабочее напряжение на диоде соответствует максимальному напряжению на выходе драйвера с запасом 50%, а среднее значение тока через диод зависит от скважности D и от среднего тока в светодиодах. Рекомендуется выбирать диод с трехкратным запасом потоку[29].

2.4 Выбор входного устройства питания драйвера

В паузах между полупериодами выпрямленного сетевого напряжения питание светодиодов отсутствует, что приводит к их мерцанию. Изображенная на рисунке 2.12 схема демонстрирует пример использования безиндуктивного ключевого источника питания в качестве источника

					<i>БР-02069964-11.03.04-15-18</i>	<i>Лис</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дат</i>		42

питания драйвера светодиодов. Сделанная из доступных компонентов без индуктивностей на выходной стороне, схема не требует высоковольтных конденсаторов, работает от переменного напряжения 120 или 230 В, рассеивает минимальную мощность и позволяет регулировать выходное напряжение.

Работа схемы основана на управлении углом проводимости MOSFET транзистора Q2. Когда выпрямленное переменное напряжение ниже задаваемого стабилитроном D1 высокого порога V_{TH} , последовательный проходной транзистор включается. После этого накопительный конденсатор C2 начинает заряжаться через нагрузку и проходной транзистор выключается.

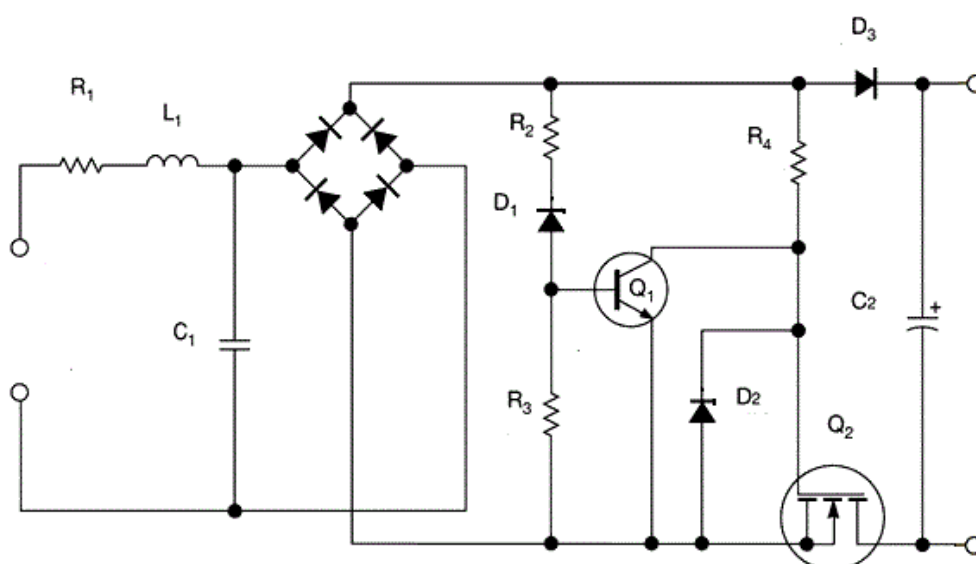


Рисунок 2.12 — Входное устройство питания драйвера

Выходное напряжение схемы будет падать до тех пор, пока выпрямленное переменное напряжение остается ниже выходного напряжения (Рисунок 2.13). Продолжительность спада выходного напряжения определяется током нагрузки и емкостью конденсатора C2. Ключ открывается только при низком напряжении, благодаря чему

Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат

рассеиваемая на нем мощность невелика. Во время нарастания синусоидального напряжения выходной конденсатор заряжается.

Резистор-предохранитель R1 защищает схему и ограничивает броски тока при первом включении переменного напряжения. 15-вольтовый стабилитрон D2 ограничивает напряжения на затворе Q2 и коллекторе Q1.

Коммутация тока MOSFET транзистором порождает «звон» между стоком и истоком Q2, являющийся источником электромагнитных излучений, подавить которые можно с помощью дросселя L1 и конденсатора C1. Схема неплохо стабилизирует яркость свечения светодиодов в широком диапазоне входных напряжений. При желании можно добавить еще несколько цепочек светодиодов.

3 Разработка электрической принципиальной схемы стабилизатора тока на основе микросхемы MP2481

3.1 Схема электрическая принципиальная стабилизатора тока

Схема стабилизатора тока совместно с входным стабилизатором представлена на рисунке 2.14.

					<i>БР-02069964-11.03.04-15-18</i>	<i>Лис</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дат</i>		44

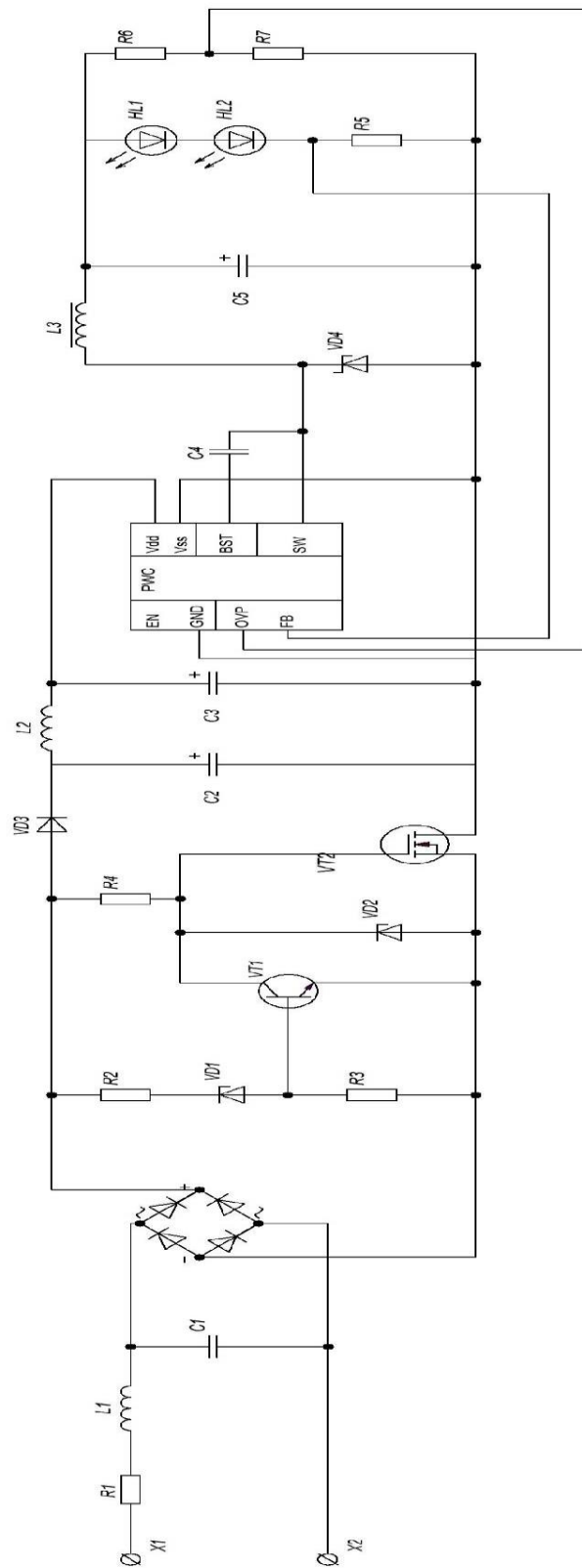


Рисунок 2.14 — Схема стабилизатора тока

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дат

БР-02069964-11.03.04-15-18

Лист

45

3.1.1 Разработка печатной платы разрабатываемого устройства

В соответствии с техническим заданием на данное изделие произведем разработку печатной платы (ПП) установки. Принимая во внимание так же рекомендации ГОСТ 10317-79 по конфигурации печатных плат, проектируемую печатную плату будем изготавливать прямоугольной формы с габаритными размерами 140,0×70,0 мм.

В качестве материала основания будем использовать двухсторонний фольгированный стеклотекстолит марки СФ-2-50Г-1,5 толщиной 2 мм.

Выбор этого материала основан на его широком применении и низкой стоимости относительно всех марок стеклотекстолитов при наиболее оптимальных электрических, химических и механических характеристиках. Толщина материала 2 мм вполне соответствует требованиям условий эксплуатации к механической прочности печатной платы.

После формирования печатного рисунка плату необходимо покрыть сплавом «Розе» для улучшения способности к пайке и сохранения электрических параметров проводников, а также для остановки окислительных процессов.

В соответствии с конструктивными и схемотехническими особенностями разрабатываемой установки, а также с учётом результатов конструкторского анализа установки, производим размещение компонентов на печатной плате и трассировку печатных проводников. Данную процедуру осуществляем с помощью программного пакета Sprint-Layout на персональном компьютере.

Сборочный чертёж и чертёж печатной платы, дающие полное представление о конструкции печатного модуля и способе изготовления печатной платы, приведены в Приложении.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		46

3.1.2 Выбор и обоснование основных параметров печатной платы

Изучение и анализ технического задания на разрабатываемое устройство, в состав которого входит проектируемая печатная плата, а также анализ схмотехнических решений и общей конструкции устройства, позволяет сделать выбор и обоснование основных параметров разрабатываемой установки.

Плотность монтажа не велика, поэтому, ПП, возможно, изготовить по второму классу точности выполнения элементов печатного рисунка. ПП 1 — 2-го классов точности просты в исполнении, надёжны в эксплуатации и имеют минимальную стоимость, 3 — 5 классов требуют использования высококачественных материалов, инструмента и оборудования.

3.1.3 Конструкторский расчёт печатной платы

Исходными данными для конструкторского расчёта являются следующие показатели:

- плата односторонняя с размерами 145,0×175,0 мм;
- материал основания — стеклотекстолит фольгированный марки СФ-2-50Г-1,5 2кл ГОСТ10316-78 толщиной 2 мм;
- резистивное покрытие — олово-свинец;
- шаг координатной сетки — 2,5 мм;
- точность выполнения элементов конструкции ПП — по второму классу;

Первому классу точности соответствуют следующие минимальные значения основных параметров элементов конструкции ПП для узкого места:

- ширина печатного проводника $t' = 0,45$ мм;
- расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка $S' = 0,45$ мм;

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		47

– расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки (гарантийный пояс) $b' = 0,20$ мм;

– отношение диаметра неметаллизированного отверстия к толщине ПП $\gamma^* = 0,4$.

1) Номинальные значения диаметров монтажных и переходных металлизированных отверстий определяются по формуле:

$$d' = d_{\text{э}} + r' + |\Delta d'_{\text{НО}}|, \quad (3.1)$$

где $d_{\text{э}}$ — максимальное значение диаметра вывода навесного элемента, устанавливаемого на ПП; r' — разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода устанавливаемого элемента; $\Delta d'_{\text{НО}}$ — нижнее предельное отклонение номинального значения диаметра отверстия.

В конструкцию разрабатываемой ДПП входят элементы диаметрами отверстий 0,45; 0,8 1,0 1,2 .

Значение r' выбирается в пределах $0,1 \div 0,4$ мм. Согласно таблице 3.2 [11], значение для металлизированных отверстий без оплавления $\Delta d'_{\text{НО}}$ ПП первого класса точности составляет 0,15 мм – для отверстий диаметром менее 1 мм и 0,2 мм для отверстий диаметром более 1 мм.

Для пайки проводов диаметром 0,45 мм:

$$d_3' = 0,45 + 0,2 + 0,15 = 0,5 \text{ (мм)}. \quad (3.2)$$

Для пайки проводов диаметром 0,8 мм:

$$d_3' = 0,8 + 0,2 + 0,15 = 1,15 \text{ (мм)}. \quad (3.3)$$

Для пайки проводов диаметром 1 мм:

$$d_3' = 1 + 0,2 + 0,15 = 1,35 \text{ (мм)}. \quad (3.4)$$

Для пайки проводов диаметром 1,2 мм:

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		48

$$d_3' = 1,2 + 0,2 + 0,15 = 1,55 \text{ (мм)} \quad (3.5)$$

2) Наименьшее номинальное значение диаметра контактной площадки под выбранное отверстие для односторонних ПП рассчитывается по формуле:

$$D_{кп} = d' + \Delta d'_{BO} + 2 \cdot b' + \Delta t_{BO} + 2 \cdot \Delta \cdot d'_{TP} + \left[T_{d'}^2 + T_{D_{кп}}^2 + t_{HO}^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.6)$$

где d'_{BO} – верхнее предельное отклонение диаметра отверстия; $d'_{BO} = 0,1$ мм;

$\Delta t'_{BO}$ и $\Delta t'_{HO}$ – верхнее и нижнее предельные отклонения диаметра контактной площадки, соответственно. $\Delta t'_{BO} = \Delta t'_{HO} = 0,1$ мм;

$T_{d'}^2$ – позиционный допуск расположения отверстия. $T_{d'}^2 = 0,15$ мм ;

$T_{D_{кп}}^2$ – позиционный допуск расположения центра контактной площадки.

$T_{D_{кп}}^2 = 0,25$ мм (для ДПП).

Для пайки проводов диаметром 0,45 мм:

$$D_{кп} = 0,5 + 2 \cdot 0,1 + \left[0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 1 \text{ (мм)}. \quad (3.7)$$

Для пайки проводов диаметром 0,8 мм:

$$D_{кп} = 1,1 + 2 \cdot 0,1 + \left[0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 1,6 \text{ (мм)} \quad (3.8)$$

Для пайки проводов диаметром 1 мм:

$$D_{кп} = 1,35 + 2 \cdot 0,1 + \left[0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 1,85 \text{ (мм)} \quad (3.9)$$

Для пайки проводов диаметром 1,2 мм:

$$D_{кп} = 1,55 + 2 \cdot 0,1 + \left[0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 2,05 \text{ (мм)} \quad (3.10)$$

3) Наименьшее значение ширины проводника рассчитывается по формуле:

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		49

$$t' = t'_{\text{мд}} + |\Delta t'_{\text{но}}|, \quad (3.11)$$

где $t'_{\text{мд}}$ – минимально допустимая ширина проводника.

Учитывая, что значение $t'_{\text{мд}}$ для первого класса точности составляет 0,75 из таблицы 3.1 [11], получаем:

$$t' = 0,45 + 0,1 = 0,55 \text{ (мм)}. \quad (3.12)$$

4) Номинальное значение расстояния между соседними элементами проводящего рисунка определяется по формуле:

$$S' = S'_{\text{мд}} + \Delta t'_{\text{во}}, \quad (3.13)$$

где $S'_{\text{мд}}$ – минимально допустимое расстояние между соседними элементами проводящего рисунка.

Учитывая, что значение $S'_{\text{мд}}$ для первого класса точности составляет 0,75, получаем:

$$S' = 0,45 + 0,1 = 0,55 \text{ (мм)}. \quad (3.14)$$

Согласно таблице 3.5 [11] максимальное напряжение для $S' = 0,55$ мм составляет 350 В.

5) Расчёт минимального расстояния для прокладки n -го количества проводников между двумя отверстиями с контактными площадками диаметрами $D_{\text{кп1}}$ и $D_{\text{кп2}}$ производят по формуле:

$$l' = \frac{(D_{\text{кп1}} + D_{\text{кп2}})}{2} + t' \cdot n + S' \cdot (n + 1) + T'_1, \quad (3.15)$$

где T'_1 – позиционный допуск расположения печатного проводника относительно соседнего элемента проводящего рисунка.

Значение T'_1 для односторонних ПП второго класса точности составляет: 0,1 мм .

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		50

Таким образом, для $n = 1$ и $D_{КП1} = D_{КП2} = 0,5$ мм получим:

$$l'_1 = 0,5 + 0,45 + 0,45 \cdot (1 + 1) + 0,1 = 1,5 \text{ (мм)}. \quad (3.16)$$

для $D_{КП1} = D_{КП2} = 1,15$ мм

$$l'_1 = 1,15 + 0,45 + 0,45 \cdot (1 + 1) + 0,1 = 2,15 \text{ (мм)}. \quad (3.17)$$

для $D_{КП1} = D_{КП2} = 1,35$ мм

$$l'_1 = 1,35 + 0,45 + 0,45 \cdot (1 + 1) + 0,1 = 2,35 \text{ (мм)}. \quad (3.18)$$

для $D_{КП1} = D_{КП2} = 1,55$ мм

$$l'_1 = 1,55 + 0,45 + 0,45 \cdot (1 + 1) + 0,1 = 2,55 \text{ (мм)}. \quad (3.19)$$

Анализ результатов конструкторского расчёта ПП показывает, что полученные в результате расчёта данные вполне удовлетворяют топологии рисунка ПП.

3.1.4 Расчет электрических параметров печатной платы

С увеличением быстродействия схем все большее значение приобретают вопросы связи между элементами. При этом, становится необходимым определение как параметров линий связи (сопротивления, емкости, индуктивности), так и степени влияния их друг на друга (паразитная емкость, взаимоиנדукция).

Электрическое сопротивление проводников с покрытием определяется по формуле:

$$R = \frac{\rho}{h'} \sum_{i=1}^{m'} \frac{L'_i}{t'_i} \quad (3.20)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление; h' — толщина печатного проводника с покрытием; m' — количество участков печатного проводника, имеющих различную ширину; L'_i — длина i -ого участка; t'_i — ширина проводника на i -ом участке.

1) Определим электрическое сопротивление проводника «земли».

В этом случае при $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом/м, $h' = 50 \cdot 10^{-6}$ м, $t' = 7,5 \cdot 10^{-4}$ м $L = 0,13$ м, получаем:

$$R = \frac{1,72 \cdot 10^{-8} \cdot 0,13}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 7,5 \cdot 10^{-3}} = 0,006 \text{ Ом.} \quad (3.21)$$

Допустимую нагрузочную способность по току на элементы проводящего рисунка найдем из условия допустимого превышения температуры окружающей среды. Для медного печатного проводника толщиной 50 мкм, шириной 0,45 мм при нагреве на 20 °С она составит 4 А.

Величина допустимого рабочего напряжения между элементами проводящего рисунка для $S' = 0,45$ мм, согласно ГОСТ 23751-86, равна 300 В.

Допустимое падение напряжения на проводнике вычисляется по формуле:

$$U = \frac{\rho \cdot L'_i}{h' \cdot t'} \cdot I, \quad (3.22)$$

где I — ток через проводник.

Ток протекающий по данным проводникам не превышает 4 А, тогда:

$$U = 0,006 \cdot 4 = 0,024 \text{ (В)}. \quad (3.23)$$

Для такого типа схем допустимое падение напряжения в цепях «питание» и «сигнал» не должно превышать 1 – 2% от номинального. Полученные значения удовлетворяет данному требованию.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		52

Для оценки помехоустойчивости изделий электронной техники на ПП, определяют емкостную и индуктивную составляющие паразитной связи, которые зависят от паразитной емкости C_{II} между печатными проводниками и паразитной взаимоиндукции M между ними.

2) Паразитная емкость между двумя печатными проводниками определяется по формуле:

$$C_{II} = C_{ПОР} \cdot l_{ПЕР}, \quad (3.24)$$

где $C_{ПОР}$ — печатная емкость связи между двумя проводниками,

$l_{ПЕР}$ — длина взаимного перекрытия проводников.

Из графиков 3.7 (а, б) [11] определим печатную емкость, воспользовавшись соотношениями $S'/H = 0,225$ и $t'/H = 0,225$:

наибольшую длину перекрытия 90 мм, при $C_{ПОР} = 0,15$ пФ/мм:

$$C_{II} = 0,15 \cdot 110 = 17 \text{ (пФ)}. \quad (3.25)$$

3) Индуктивность печатного прямоугольного проводника вычисляется по формуле:

$$L_{ПР} = L_{ПОР} \cdot l_{ПП} \quad (3.26)$$

где $L_{ПОР}$ — погонная индуктивность плоского прямоугольного проводника; $l_{ПП}$ — длина печатного проводника.

Из графиков 3.8 (а, б) [11] определим погонную индуктивность, воспользовавшись соотношениями $S'/H = 0,225$ и $t'/H = 0,225$, при $l_{ПП} = 175$ мм, $L_{ПОР} = 14$ нГн/мм:

$$L_{ПР} = 14 \cdot 175 = 2,5 \text{ мкГн}. \quad (3.27)$$

4) Взаимоиндукция между печатными проводниками рассчитывается по формуле:

$$M_{III} = M_{ПОГ} \cdot l_{ПЕР}, \quad (3.28)$$

где $M_{ПОГ}$ – погонная взаимоиндукция.

Определим взаимоиндукцию между проводниками, имеющие наибольшую длину перекрытия, при $M_{ПОГ} = 0,5$ нГн, $l_{ПЕР} = 110$ мм:

$$M_{III} = 0,5 \cdot 110 = 55 \text{ (нГн)}. \quad (3.29)$$

					<i>БР-02069964-11.03.04-15-18</i>	<i>Лис</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дат</i>		54

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы над ВКР были изучены основные параметры, характеристики и зависимости полупроводниковых светоизлучающих диодов, а также материалы и технологии для их проектирования. На основании проанализированных данных и рассчитанных электрических, оптических и тепловых характеристик полупроводниковых источников оптического излучения была разработана схема источника тока. Для проектируемого источника был произведен расчет элементов схемы. По результатам расчета была спроектирована схема источника тока для питания мощных светодиодов. Результаты выполненной работы показали, что необходимо проводить дальнейшие исследования в данном направлении и двигаться по пути усовершенствования энергосберегающих технологий на основе светодиодов. Направление достаточно перспективно и спрос на данные компоненты с каждым днем будет только возрастать.

					<i>БР-02069964-11.03.04-15-18</i>	<i>Лис</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дат</i>		<i>55</i>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Абрамов В. С. Белые светодиоды журнал // Светодиоды и лазеры // В. С. Абрамов. – 2002, № 2 – С.25-28.
- 2 Балакирев А. Е., Туркин А. Н. Развитие технологии нитрида галлия и перспективы его применения в СВЧ-электронике // Современная электроника// А. Е. Балакирев, А. Н. Туркин – 2015. № 4. С. 28–32.
- 3 Берг А., Дин П. Светодиоды /пер. с англ. / А. Берг, П. Дин. — М.: Мир, 1979. – 688 с.
- 4 Виды и типы светодиодов – полная классификация / сайт Владимира Руденко. — 2015 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 10.05.2017. — URL: <https://leds-test.ru/vidy-i-tipy-svetodiodov-polnaya-klassifikatsiya>
- 5 Лундин В. В. Высокоэффективные InGaN/GaN/AlGaIn светодиоды с короткопериодной InGaN/GaN сверхрешеткой для диапазона 530–560 nm / В. В. Лундин.
- 6 Зи С. Физика полупроводниковых приборов / С. Зи. – Т. 2. – М.: Мир, 1979.– 458 с.
- 7 Закгейм А. Л., Курышев Г. Л, Мизеров М. Н. Исследование тепловых процессов в мощных InGaN/GaN флип-чип светодиодах с использованием инфракрасной тепловизионной микроскопии / А. Л. Закгейм, Г. Л. Курышев, М. Н. Мизеров [и др.] / ФТП. Сер. Физика полупроводниковых приборов. – 2010. – Т. 44. – Вып. 3. – С. 390-397.
- 8 Коган Л. М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды / Л. М. Коган 1983. С. 56
- 9 Кофанов Ю. Н., Манохин А. И., Сарафанов А. В. Модели тепловых процессов систем охлаждения с использованием тепловых труб, с плавящимся рабочим веществом, термоэлектрической системы охлаждения для автоматизированного анализа тепловых процессов / Ю. Н. Кофанов, А. И. Манохин, А. В. Сарафанов //СИСТЕМОТЕХНИКА//, № 4, 2006г, 4-7 с.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		56

10 Закгейм А. Л., Левинштейн М. Е., Петров В. П. Низкочастотный шум в исходных и деградировавших синих InGaAs/GaN-светодиодах / А. Л. Закгейм, М. Е. Левинштейн, В. П. Петров [и др.] // ФТП. Сер. Физика полупроводниковых приборов. – 2012. – Т. 46. – Вып. 2. – С. 219-223.

11 Никифоров С. Г. Разработка средств измерений и методов контроля параметров полупроводниковых излучателей на основе соединений АШВУ, используемых в высоконадёжных приборах / С. Г. Никифоров, дис. д-ра техн. наук. – Москва, 2015. – 386 с.

12 Никифоров, С. Г. Система параметров светодиодов. Электрические, фотометрические, спектральные (колориметрические) и энергетические характеристики // Полупроводниковая светотехника// С. Г. Никифоров – 2011. – Вып. 5 – С. 16–27.

13 Николаев А. Е., Сахаров А.В. [и др.] // Письма в ЖТФ// А. Е. Николаев, А. В. Сахаров – 2010. – Т. 36 – Вып. 22. – С. 89-95.

14 Пихтин А. Н. Оптическая и квантовая электроника / А. Н Пихтин : учеб. для вузов – М.: Высш. Шк., 2001. – 573 с.

15 Полищук А. Г., Туркин А. Н. Деградация полупроводниковых светодиодов на основе нитрида галлия и его твердых растворов // Компоненты и технологии // А. Г. Полищук, А. Н. Туркин – 2008. – Вып. 2. – С. 130–133.

16 Сушков В. П., Никифоров С. Г. Метод контроля потенциальной степени деградации характеристик светодиодов на основе твёрдых растворов AlGaInN // Полупроводниковая светотехника// В. П. Сушков, С. Г. Никифоров – 2011. – Вып. 3 – С. 10-13.66

17 Туркин А. Н. Нитрид галлия как один из перспективных материалов в современной оптоэлектронике // Компоненты и технологии // А. Н. Туркин – 2011. № 5. С. 6–10.

18 Федоров Ю. Н. Широкозонные гетероструктуры (Al, Ga, In)N и приборы на их основе для миллиметрового диапазона длин волн // Электроника НТБ // Ю. Н. Федоров – 2011. № 2.

					БР-02069964-11.03.04-15-18	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпис	Дат		57

19 Шуберт Ф. Светодиоды Ф. Шуберт – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 488 с.

20 Шмидт Н. М., Усиков А. С., Шабунина Е. И. Изучение механизмов, ответственных за деградацию эффективности светодиодов на основе нитридов третьей группы / Н. М. Шмидт., А. С. Усиков., Е. И. Шабунина [и др.] / НТВ ИТМО. – 2015. – Т. 1. – Вып. 15. – С. 46-53.

21 Щербаков В. Н. Исследование надежности и диагностика светодиодов на основе гетероструктур/ В. Н Щербаков // В сб. трудов МНТК «Информационные технологии и моделирование приборов и техпроцессов в целях обеспечения качества и надежности», МГУПИ, 2006. С. 65-74.

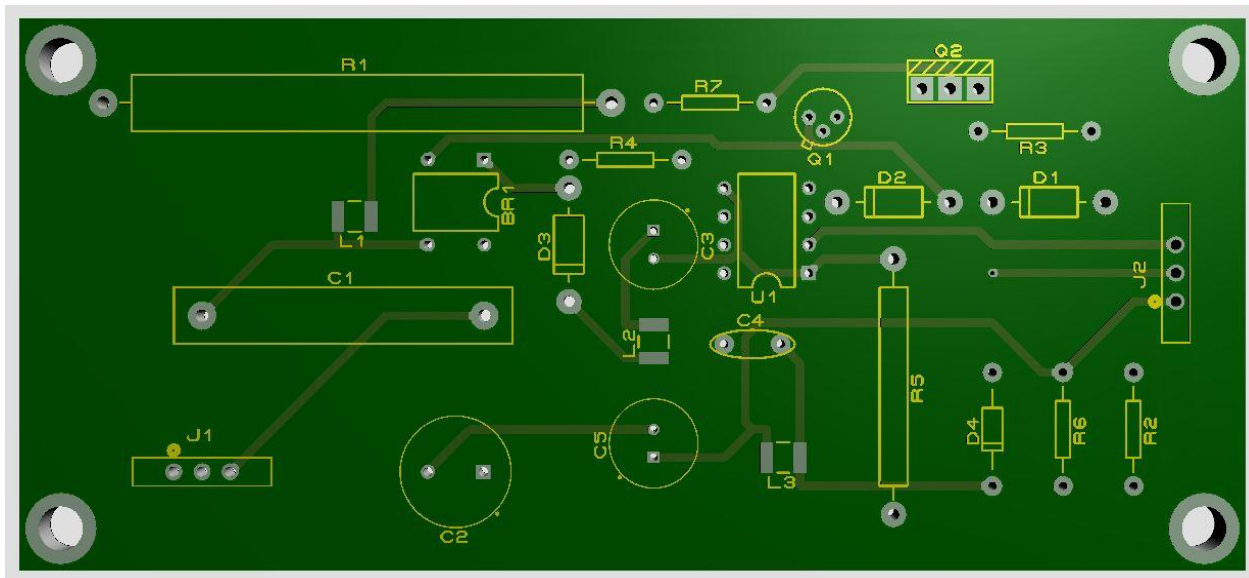
22 Юнович А. Э. Светодиоды на основе гетероструктур из нитрида галлия и его твердых растворов // Светотехника// А. Э. Юнович – 1996. Вып. 5/6. С. 2–7.

					<i>БР-02069964-11.03.04-15-18</i>	<i>Лис</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дат</i>		<i>58</i>

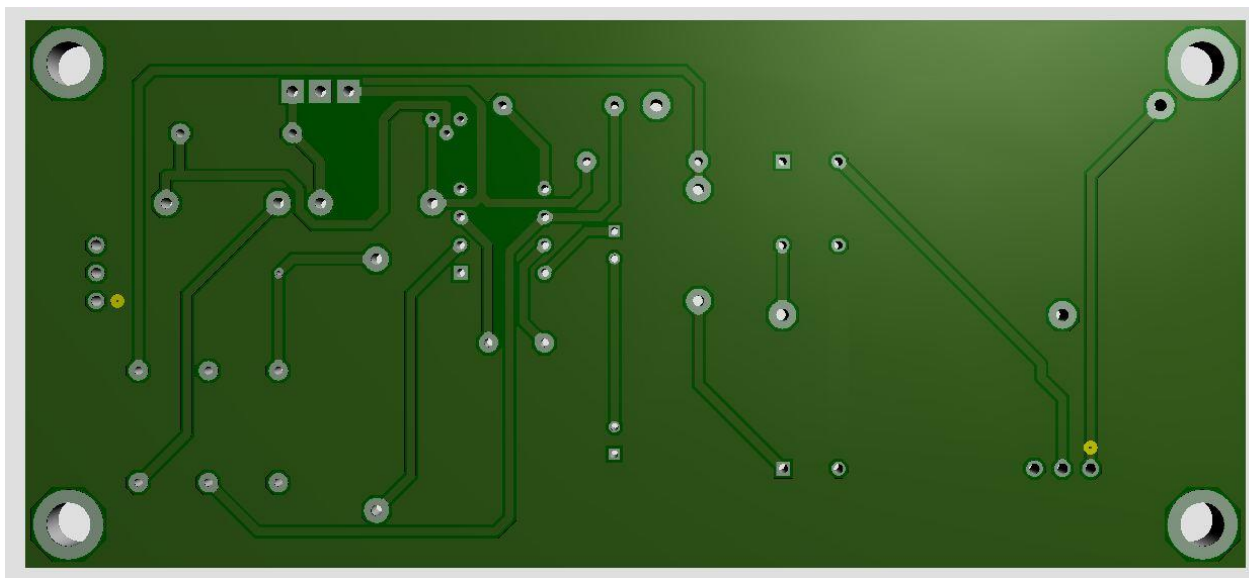
ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Внешний вид печатной платы устройства



Вид сверху



Вид снизу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дат

БР-02069964-11.03.04-15-18

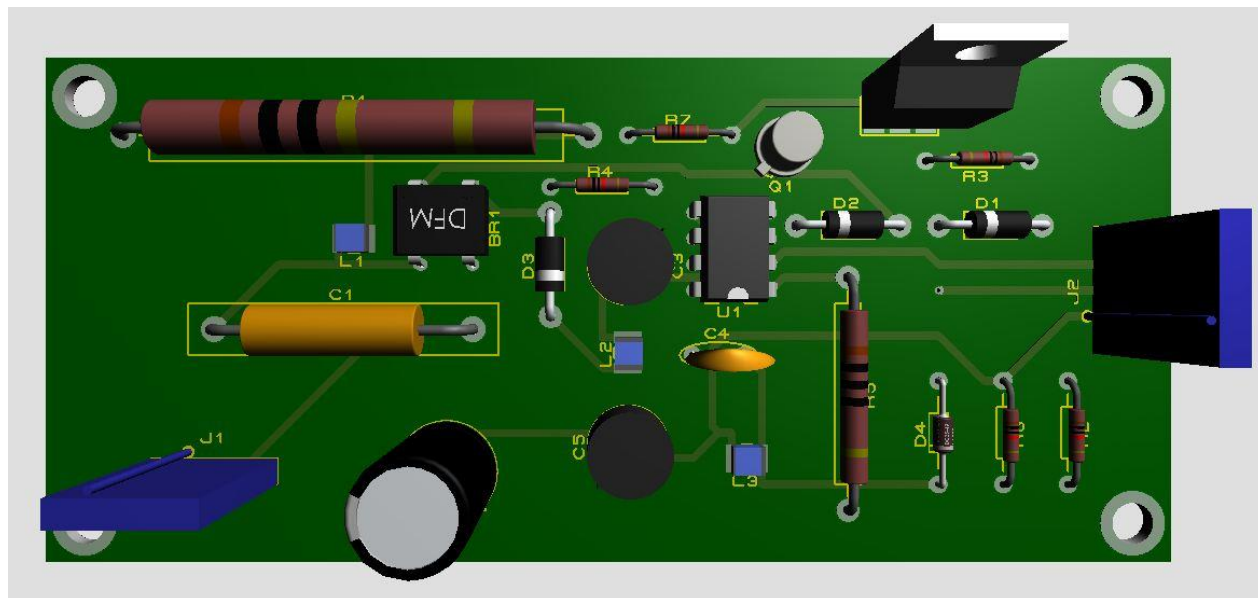
Лист

59

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Внешний вид печатной платы с установленными компонентами устройства



Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дат

БР-02069964-11.03.04-15-18

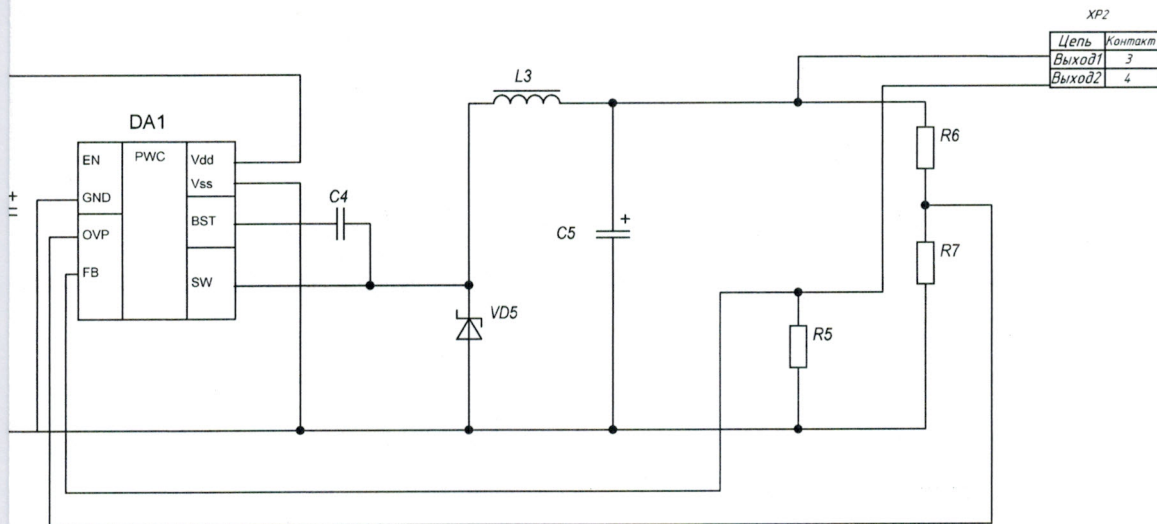
Лист

60

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Схема электрическая принципиальная и перечень элементов



БР - 02069964 - 11.03.04 - 15 - 18-33

Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Схема стабилизатора тока для питания мощных светодиодов	Лит	Масса	Масштаб
оад.	Курынов Б.В.	<i>Курынов</i>	15.06.18				
вер.	Гуляев И.В.	<i>Гуляев</i>	15.06.18				
					Лист 1	Листов 1	
контр.	Шестёркина А.А.	<i>Шестёркина</i>	20.06.18	ИЗУС ЭИИ 411 зр.			
верд.	Беспалов Н.Н.	<i>Беспалов</i>	20.06.18				

Поз. обознач.	Наименование	Кол.	Примечание
	Диоды		
VD1	KBPC1006	1	
VD2	1N4754A	1	
VD3	1N4744A	1	
VD4	1N4004	1	
VD5	B140	1	
	Дроссели		
L1 - L3	RLB1314-682KL	3	
	Конденсаторы		
C1	K73-17-0.1 мкФ-400В	1	
C2, C3	K50-35 220 мкФ x 63В	2	
C4	K10-17Б 1000пФ	1	
C5	K50-35 2.2 мкФ x 25В	1	
	Микросхемы		
DA1	MP2481	1	
	Разъёмы		
XP1- XP2	MF-2x1 MRA	2	
	Резисторы		
R1	LTO100F25R00JTE3, LTO100 100 Ом (5%) резистор 10Вт	1	
R2	C1-4 0.125/0.25 Вт, (5%), 39 КОм	1	
R3	C1-4 0.125/0.25 Вт, (5%), 10 КОм	1	
R4	3296W-1-104, 470 КОм	1	
R5	C1-4 0.125/0.25 Вт, (5%), 1 Ом	1	
R6, R7	C1-4 0.125/0.25 Вт, (5%), 100 КОм	2	
	Транзисторы		
VT1	BC547	1	
VT2	IRF820	1	

БР - 02069964 - 11.03.04 - 15 - 18

Схема стабилизатора тока
для питания мощных
светодиодов

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Курынов Б. В.	<i>[Подпись]</i>	15.06.08
Провер.		Гуляев И. В.	<i>[Подпись]</i>	15.06.08
Т. контр.				
Реценз.				
Н. контр.		Шестеркина А. А.	<i>[Подпись]</i>	20.06.08
Утверд.		Беспалов Н. Н.	<i>[Подпись]</i>	20.06.08

Лит	Масса	Масштаб
у		
Лист 1	Листов 1	

ИЗУС ЭИИ 411 зр.

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1					
2			Документация текстовая		
3					
4	A4	БР-02069964-11.03.04-15-18 ПЗ	Пояснительная записка	58	
5	A4	БР-02069964-11.03.04-15-18	Внешний вид печатной платы устройства	1	Прил А
6					
7	A4	БР-02069964-11.03.04-15-18	Внешний вид печатной платы с установленными компонентами устройства	1	Прил Б
8					
9					
10	A4	БР-02069964-11.03.04-15-18 ПЗЗ	Спецификация элементов принципиальной электрической схемы	1	Прил Г
11					
12					
13					
14			Документация графическая		
15					
16	A3	БР-02069964-11.03.04-15-18 ЗЗ	Схема электрическая принципиальная	1	Прил В
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					

БР - 02069964 - 11.03.04 - 15 - 18

					Лит			Масса			Масштаб		
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Ведомость			у			Лист 1 Листов 1		
Разраб.		Курынов Б. В.		09.06.18									
Провер.		Гуляев И. В.		07.06.18									
Т. контр.													
Реценз.													
Н. контр.		Шестёркина А. А.		20.06.18	ИЗУС ЭИИ 411 гр.								
Утверд.		Беспалов Н. Н.		02.06.18									