

Особенности построения ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

для светодиодного оборудования

Сергей Миронов
s.mironov@compel.ru

В рамках этой статьи пойдет речь о решении ряда технических вопросов, связанных с мощными светодиодами и источниками питания для них. Мы проведем взаимосвязь между одним из направлений полупроводниковой светотехники и одним из направлений силовой электроники; расскажем о некоторых особенностях построения источников питания для светодиодных систем.

Статья является переработанной стенограммой доклада Сергея Миронова на конференции «Силовая электроника», состоявшаяся 24 марта 2011 года в Москве.

ПОТЕНЦИАЛ РЫНКА СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В настоящее время все мы являемся свидетелями стремительного развития источника света нового типа — светодиода. Почему нового? Если посмотреть и классифицировать источники света, существующие в настоящий момент, то их можно разбить на две большие группы — тепловые источни-

ки света, где излучение фотонов происходит за счет нагрева нити накаливания и газоразрядные. Светодиод отличается от них тем, что он твердотельный. Здесь нет нити накаливания, нет стеклянной колбы, по своей конструкции это достаточно прочное устройство, и не боится ударов.

Для того чтобы источники света можно было корректно сравнивать между собой, был введен ряд параметров: энергетических и качественных. Основной энергетический параметр — это световая отдача. Он показывает, какое количество света можно получить от источника при подведении к нему электрической мощности в один ватт. Качественными параметрами, которые характеризуют источник света, являются индекс цветопередачи, цветовая температура и вид спектра излучаемого света — непрерывный или линейчатый (рис. 1).

У всех существующих источников света есть как преимущества, так и недостатки. Основной «минус» у тепловых источников света — низкая эффективность, но при этом они обладают самым хорошим качеством света (ин-

декс цветопередачи, — CRI, — у них равен 100, т.е. максимальной величине).

С газоразрядными источниками света не все так однозначно. Часть из них обладает достаточно высоким индексом цветопередачи до 95, с хорошей светоотдачей, но при этом их спектр линейчатый. Газоразрядные натриевые лампы обладают очень низким индексом цветопередачи, порядка 15—20, но при этом у них наилучшая светоотдача среди традиционных источников света.

Сейчас уже можно с полной уверенностью говорить о том, что светодиод перенял у обоих, описанных выше типов, лучшие качества: наилучший индекс цветопередачи и превосходные энергетические параметры с точки зрения эффективности. Так лучшие образцы светодиодов фирмы Cree имеют эффективность до 160 лм/Вт (в холодном белом цвете), а индекс цветопередачи светодиодов приближается к 95 (в теплом белом цвете). Из всего этого видно, что светодиоды уже сейчас составляют достойную конкуренцию традиционным источникам света.

На рисунке 2 приведена диаграмма. Компания РосБизнесКонсалтинг оценивает объем рынка светотехники России на



Рис. 1. Источник света нового типа — полупроводниковый светодиод



Рис. 2. Сегментация рынка по типу источников света

уровне чуть больше двух миллиардов долларов. Доля светодиодов на нем весьма невелика, на уровне 4–5%. Львиную долю сейчас занимают источники света теплового характера — лампы накаливания (в т.ч. и галогенные). Однако, что для нас самое главное, мы видим, какой у светодиодной индустрии есть потенциал роста. С того момента, как светодиоды обрели достаточное количество конкурентных преимуществ, — высокую световую эффективность и хорошее качество света, — начиная с 2005 года происходит плавное замещение светодиодными осветительными устройствами тепловых источников света. Сейчас наблюдается небольшой рост люминесцентных источников света (в основном за счет компактных люминесцентных ламп). Ориентировочно к 2013–2014 гг. доля светодиодного освещения ожидается уже на уровне 20%. По оценке компании CREE, мировой рынок осветительных светодиодов, в прошедшем году, составил более \$3,5 млрд. Одним словом, перспективы использования светодиодов в освещении — на лицо.

Основная особенность светодиода заключается в том, что для его питания требуется источник стабильного тока. Собственно говоря, до тех пор, пока на рынке не было мощных осветительных светодиодов, не было и источников тока. Они появились лишь после того, как в них появилась такая потребность.

КЛЮЧЕВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИП ДЛЯ СВЕТОДИОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Диапазон токов современных светодиодов сейчас находится в довольно широком диапазоне — от 60 мА до 3 А. Кстати, светодиоды с рабочим током в 60 мА появились совсем недавно. До определенного момента диапазон токов начинался от 350 мА. И на рынке сейчас присутствует огромное количество источников питания с токами от 350 мА и выше.

Изготовителей светотехнического оборудования сегодня можно разделить на две группы. Первая потребляет готовые, законченные модульные изделия и вторая, которая пытается разрабатывать свои собственные. Первая группа сейчас наиболее многочисленная, в нее входят все те, кто начинает пробовать свои силы используя осветительные светодиоды для светильников. Использование готовых источников питания позволяет быстро выйти на рынок с разработанным устройством, быстро менять модельный ряд, подстраиваясь под нужды рынка, иметь минимум комплектующих и не содержать склад под элементы для изготовления блоков питания, а также отсутствуют дополнительные расходы на содержание группы квалифицированных разработчиков — инженеров и испытательной лаборатории.

Источник питания для светодиодного светильника — очень важная составляющая. Дело в том, что от качества источника питания зависят практически все основные характеристики светодиодного светильника.

Светотехнические. Они определяются, конечно же, источником света, но они будут еще и зависеть от того, какой ток пойдет через источник света: будет ли он пульсировать, будет ли он меняться в каких-либо пределах. От этого будет зависеть цветовая температура, световой поток светодиода. Значением и качеством выходного тока источник оказывает непосредственное влияние на светотехнические характеристики.

Надежность. Вопрос немаловажный. В настоящее время светодиоды достигли такого уровня, что практически все производители светотехнической продукции заявляют на свои изделия, как и производители светодиодов, срок службы от 50000 часов и выше. Кто-то даже и 100000. О ста говорить конечно сложно,

а вот 50 тысяч часов — сейчас вполне достижимый параметр (есть практические данные). Поэтому источник питания, который разрабатывается под светодиодный светильник, должен иметь соответствующий срок службы.

Энергоэффективность. Как мы знаем, светодиод относится к энергосберегающим технологиям. При этом полупроводниковое освещение имеет достаточно высокую стоимость для потребителя. Экономя на преобразовании электроэнергии, используя источники питания с более высоким КПД, мы можем повысить общую эффективность системы и снизить тем самым «стоимость света».

Электромагнитная совместимость. Понятное дело, что в светильнике единственным преобразователем электрической энергии, способным влиять на электромагнитную обстановку, является источник питания. Поэтому от того, как он будет сконструирован, будет зависеть общая ЭМС готового светильника в целом.

Электробезопасность. Источник питания является единственным устройством, который подключается напрямую к сети 220 вольт. От того, как он будет выполнен, будет зависеть электробезопасность всего устройства в целом, независимо от того, речь идет о штатном режиме работы или о нештатном.

И, соответственно, источник питания должен соответствовать условиям эксплуатации светильника, под который он разрабатывается (см. таблицу 1).

Итак, если существует столь большое количество параметров, на которые влияет источник питания, то должны существовать и нормативные документы, регламентирующие его разработку и эксплуатацию. В таблице приведены основные ГОСТы, которые всем разработчикам источников питания хорошо знакомы. Наибольший интерес с представляет ГОСТ Р 513 17.3.2-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний».

Таблица 1. Нормативные документы и требования к источнику питания

№	Стандарты действующие в России	Международные стандарты	Наименование
1	ГОСТ Р МЭК 60065-2005	МЭК 60065	Требования безопасности
2	ГОСТ Р 51318.14.1-2006	EN55015	... радиопомехи промышленные... (ЭМС)
3	ГОСТ Р 51317.3.2-2006	IEC 61000-3-2	Эмиссия гармонических составляющих... (ЭМС)
4	ГОСТ Р 51317.3.3-2008	IEC 61000-3-3	Ограничение изменений напряжения... (ЭМС)

* Плюс дополнительные требования с учетом особенностей применения: защита от импульсов повышенной энергии, устойчивость к воздействию помех и др.

К этим ГОСТам имеются еще и дополнительные требования с учетом особенностей эксплуатации светильника. В частности — защита источников питания от импульсов повышенной энергии. Это касается тех светильников, которые будут подключаться непосредственно к проводам ЛЭП. Так, мы все знаем, что при различных грозовых разрядах или во время молнии в проводах линии электропередач наводятся ЭДС — импульсы очень большой амплитуды. В сети, безусловно, есть первичные устройства, которые могут гасить их, но ввиду того, что сеть распределенная, полностью погасить их, невозможно. Поэтому источник питания обязан иметь защиту от подобных импульсов.

Светодиод — прибор безынерционный и в некоторых применениях это плюс. А в некоторых — наоборот. Одним словом, он мгновенно обрабатывает все изменения тока, протекающего через него. И в случае, если источник питания имеет какие-то пульсации, то они моментально превращаются в пульсации светового потока. На пульсации светового потока также есть нормативные документы — СанПиН 2.2.1 2.1.1.2585-10. В этом документе определены коэффициенты пульсаций. Самая жесткая норма — 0% и применяется для помещений только одного типа — в чертежных залах. Следующий порог — уточню, именно в этом документе СанПиН 2.2.1 2.1.1.2585-10 — 10% и применяется в помещениях для работы с мониторами. Есть еще и 5%, но этот порог определен в другом документе СанПиН 2.1.8/2.2.4.2620-10 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы». Этим показано, что разработчикам источников питания для светодиодных светильников необходимо знать не только требования общего СанПиНа, но и, требования других документов. По большому счету, при разработке офисного светильника необходимо исходить из того, чтобы он обеспечивал не более 5% пульсаций по световому потоку.

На что же еще нужно обращать внимание при проектировании источника питания?

ОСНОВНЫЕ МОМЕНТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИП ДЛЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Мы рассмотрим AC/DC понижающие преобразователи, поскольку именно такие преобразователи имеют наибольшее применение. Это и понятно, ведь первичная электросеть имеет переменное напряжение 220 В и такие устройства наиболее распространены.

В первую очередь нужно обращать внимание на схему построения: изолированный или неизолированный вход/выход, т.е. имеет ли источник питания гальваническую развязку.

Коррекция коэффициента мощности (ККМ). Этот параметр очень важен, про него много сейчас говорят.

Если ККМ требуется, то по какой схеме строить источник питания? Однокаскадным или многокаскадным преобразованием?

КПД. Вы все прекрасно знаете, какие потери возникают при преобразовании. Однако при построении именно источника тока есть еще один вид потерь, быть может, он не очень очевиден — это потери в петле обратной связи. Дело в том, что в качестве датчика тока используется резистор. Через него протекает тот ток, который мы стабилизируем. Он может доходить до нескольких ампер. И все зависит от того, какое внутренне опорное напряжение у микросхемы, которую вы выбрали в качестве преобразователя. Если это напряжение на уровне от пол вольта и выше — это уже плохо. Хорошая микросхема имеет напряжение 200...300 мВ, иначе мы получим большие потери на датчике тока. Конечно, есть методы, которые позволяют это обойти, но в статье мы это обсуждать не будем.

Подробнее о гальванической развязке с электрической сетью. Запретов на использование источников питания без электрической изоляции вход/выход нет. Есть ГОСТ МЭК 60 598 «Светильники. Общие требования и методы испытаний». Он подразделяет светильники на три класса по защите от поражения электрическим током.

I класс. Защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и защитным заземлением токо-

проводящих доступных для прикосновения частей устройства. Испытательное напряжение 1,5 кВ.

II класс. Защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и дополнительной или усиленной изоляцией токопроводящих доступных для прикосновения частей устройства. Испытательное напряжение 3,6 кВ.

III класс. Устройство питается безопасным сверхнизким напряжением (БСНН). Безопасное сверхнизкое напряжение по ГОСТ МЭК 60 598 не выше 50 В.

В чем здесь может быть подвох? Дело вот в чем: светодиоды можно устанавливать в светильники как на печатные платы из стеклотекстолита, так и на печатные платы из алюминия. Если у вас нет гальванической развязки, то вывод светодиода будет непосредственно связан с входной (220 В) клеммой светильника. У светодиода есть так называемые «термопады» — площадки, через которые он отводит тепло. Зазор между «термопадом» и выводом светодиода очень мал — 0,2...0,3 мм. И, если в качестве радиатора вы используете корпус светильника, а, как правило, все так и делают, поскольку тепло всегда надо отводить в окружающую среду, то эти доли миллиметра и будут составлять расстояние между корпусом и входной клеммой светильника и ни о каких 1,5 кВ в данном случае речь идти не может — этот промежуток пробьется при нескольких сотнях вольт.

Если светодиод устанавливается на алюминиевую печатную плату, то этого избежать, возможно. Производители «сэндвичей» для печатных плат гарантирую на свой материал 1,5...3 кВ. Но практически, по опыту общения с производителями именно печатных плат, производители печатных плат не всегда гарантируют, что печатные платы, которые они изготовят, выдержат на пробой 1,5 киловольт.

Именно поэтому я считаю, что наибольшее применение найдут печатные платы, имеющие гальваническую развязку с сетью.

Коррекция коэффициента мощности. Здесь я скажу лишь то, что в России имеется ГОСТ 51317 3.2. Этот документ

разделяет все оборудование на 4 класса (А, В, С, D). Класс «С» — световое оборудование, его мы сейчас и рассмотрим. В зависимости от того, какая получается мощность потребления: более 25 ватт или менее 25 ватт — предъявляются определенные требования по эмиссии гармоник в сеть. Причем скажу, что наш ГОСТ определяет амплитуды каждой гармонической составляющей, вплоть до 39-й. Например, американский ГОСТ определяет просто общий коэффициент нелинейных искажений. Источник питания, имеющий общий коэффициент искажений в пределах допустимых не факт, что пройдет по нашим нормам, поскольку, если у него «вылезет» например 7 или 9 гармоника выше нормы, по Российским нормам источник питания не пройдет.

Здесь стоит поговорить о том, как строится источник питания с активным корректором коэффициента мощности. Это либо однокаскадный преобразователь, либо многокаскадный. В первом случае на вход схемы управления подается информация о пульсирующем входном напряжении после выпрямителя, причем здесь нет фильтрующего конденсатора, и на вход схемы управления заводятся все виды обратной связи источника. В итоге схема вырабатывает напряжение, которое воздействует на ключевой транзистор. Задача корректора мощности — представить источник питания по отношению к сети линейной нагрузкой. То же самое можно сделать, но с лучшими характеристиками, если коррекцию коэффициента мощности вынести в отдельный каскад. Здесь я останавливаться особо не буду. Можно посмотреть некоторые осциллограммы источника питания для светодиодного светильника на рисунке 3. На осциллограммах мы видим форму выходного тока. В первом случае двухкаскадный преобразователь, а во втором случае два однокаскадных преобразователя. Во втором случае есть особенность: мы не можем полностью избавиться от 100 Гц пульсации на выходе. Дело в том, что фильтрующая емкость непосредственно подключается и к светодиодам, и полностью избавиться от этой синусоиды не получается. Она

Форма выходного тока источников питания

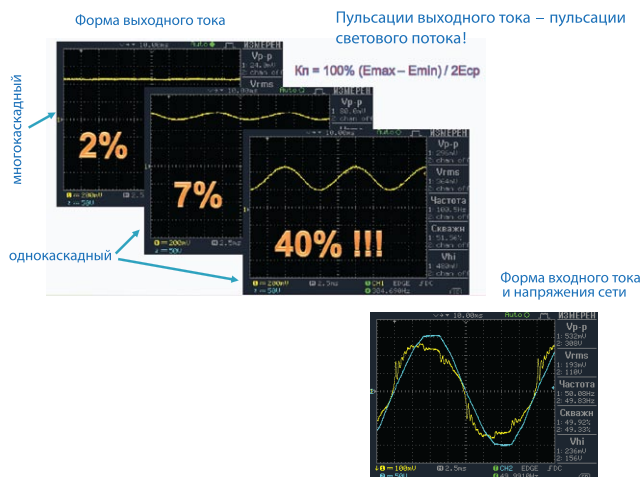


Рис. 3. Форма выходного тока источников питания

может быть только либо меньше, либо больше. Поэтому, применяя, однокаскадные преобразователи в светильниках для офисов надо учитывать именно этот важный момент.

Давайте возьмем для сравнения схемы преобразователей с активной коррекцией мощности. У них есть и плюсы и минусы. Многокаскадные: выходной ток практически без пульсаций, выходной ток менее чувствителен к перепадам входного напряжения. Минусы — более сложная схемотехника, КПД в теории должен быть меньшим, однако есть серийно выпускаемые многокаскадные преобразователи с очень хорошим КПД.

Плюсы однокаскадных — конечно более простая реализация. КПД, безусловно, достаточно высокий. Из минусов: поскольку в одну схему заводятся все виды обратной связи, то они все влияют друг на друга и в итоге коэффициент мощности при различных условиях может «плавать», меняться (как правило в худшую сторону). Ну и, соответственно минусы — пульсация выходного тока на выходе и чувствительность выходного тока к перепадам входного напряжения (конденсатор стоит параллельно нагрузке).

На основании имеющегося опыта можно сформировать основные общие характеристики источников питания светодиодных светильников в зависимости от приложения. По применению светильники условно разделяются на три большие группы. Све-

тильники для наружного освещения, внутреннего освещения и светильники для применения в системе ЖКХ. Каждая группа характеризуется набором основных параметров.

Источники питания светильников для наружного освещения должны иметь диапазон выходной мощности в десятки и сотни ватт. Значение выходного тока должно быть от 1 А и выше, при этом, обязательным условием становится наличие ККМ и обеспечение соответствующей защиты от климатических факторов. Источники питания для применения внутри помещений, как правило, имеют меньшую выходную мощность — десятки ватт и выходной ток до 1 А. Но основным фактором выступает коэффициент пульсаций тока и наличие ККМ. Источники питания для светильников в сфере ЖКХ имеют мощность единицы и десятки ватт. Выходной ток источника десятки — сотни мА. Наличие ККМ — в зависимости от мощности. В настоящий момент, если светильник потребляет менее 25 Вт, то требования к эмиссии гармонических составляющих щадящие.

Источник питания — важная часть светового прибора. Он обеспечивает качественные показатели на протяжении всего срока службы устройства. Одна из основных задач разработчика источника питания, чтобы его изделие отвечало всем необходимым требованиям и имело высокую надежность.