

ные преимущества в процессе эксплуатации перед другими типами трансформаторов. На напряжении до 1 кВ применяется электрооборудование (в том числе кабели и магистральные шинопроводы), позволяющее применять в электроустановках системы заземления в соответствии с требованиями действующих стандартов. Имеются также и другие технические новшества, которые следовало бы отразить в нормативно-технической документации по проектированию электроснабжения и электрооборудования промышленных предприятий.

Вывод

При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий следует учитывать инновационные технологии и созданное на их основе электрооборудование, что вызывает необходимость внесения изменений и дополнений в действующую в Республике Беларусь нормативно-техническую документацию.

УДК 621.32

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Зубра А.В.

Научный руководитель – ПРОКОПЕНКО Л.В.

Светодиод – это полупроводниковый прибор, преобразующий электрический ток непосредственно в световое излучение. Состоит он из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Современные светодиоды мало похожи на первые корпусные светодиоды, применявшиеся для индикации. Свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в области *p-n*-перехода – контакта двух полупроводников с разными типами проводимости. Для этого приконтактные слои полупроводникового кристалла легируют разными примесями: по одну сторону акцепторными, по другую – донорскими. Но не всякий *p-n*-переход излучает свет, так как, во-первых, ширина запрещенной зоны в активной области светодиода должна быть близка к энергии квантов света видимого диапазона, а во-вторых, вероятность излучения при рекомбинации электронно-дырочных пар должна быть высокой, для чего полупроводниковый кристалл должен содержать мало дефектов, из-за которых рекомбинация происходит без излучения. Эти условия в той или иной степени противоречат друг другу. Чтобы соблюсти оба условия, одного *p-n*-перехода в кристалле оказывается недостаточно, и приходится изготавливать многослойные полупроводниковые структуры, так называемые гетероструктуры, за изучение которых российский физик академик Жорес Алферов получил Нобелевскую премию 2000 г.

Первоначально светодиоды применялись исключительно для индикации. Чтобы сделать их пригодными для освещения, необходимо было прежде всего научиться изготавливать белые светодиоды, а также увеличить их светоотдачу. В 60-х и 70-х годах были созданы светодиоды на основе фосфида и арсенида галлия, излучающие в желто-зеленой, желтой и красной областях спектра. Их применяли в световых индикаторах, табло, приборных панелях автомобилей и самолетов, рекламных экранах, различных системах визуализации информации. По светоотдаче светодиоды обогнали обычные лампы накаливания. По долговечности, надежности, безопасности они тоже их превзошли. Одно было плохо – не существовало светодиодов синего, сине-зеленого и белого цвета. Цвет светодиода зависит исключительно от ширины запрещенной зоны, в которой рекомбинируют электроны и дырки, то есть от материала полупроводника, и

от легирующих примесей. Чем «синее» светодиод, тем выше энергия квантов, а значит, тем больше должна быть ширина запрещенной зоны. Чтобы изготовить голубой светодиод ученым пришлось преодолеть определенные трудности, и лишь в 1989 г. доктор Ш. Накамура из фирмы Nichia Chemical, так подобрал легирование (Mg, Zn) и термообработку, что смог получить эффективно инжектирующие слои *p*-типа в GaN-гетероструктурах. Фирма Nichia запатентовала ключевые этапы технологии и к концу 1997 г. выпускала уже 10–20 млн. голубых и зеленых светодиодов в месяц, а в январе 1998 г. приступила к выпуску белых светодиодов.

Существует три способа получения белого света от светодиодов. Первый – смешивание цветов по технологии RGB. На одной матрице плотно размещаются красные, голубые и зеленые светодиоды, излучение которых смешивается при помощи оптической системы, например линзы. В результате получается белый свет. Второй способ заключается в том, что на поверхность светодиода, излучающего в ультрафиолетовом диапазоне, наносится три люминофора, излучающих, соответственно, голубой, зеленый и красный свет. Это похоже на то, как светит люминесцентная лампа. И, наконец, в третьем способе желто-зеленый или зеленый плюс красный люминофор наносятся на голубой светодиод, так что два или три излучения смешиваются, образуя белый или близкий к белому свет. У каждого способа есть свои достоинства и недостатки. Технология RGB в принципе позволяет не только получить белый цвет, но и перемещаться по цветовой диаграмме при изменении тока через разные светодиоды. Этим процессом можно управлять вручную или посредством программы, можно также получать различные цветовые температуры. Поэтому RGB-матрицы широко используются в светодиодных системах. Кроме того, большое количество светодиодов в матрице обеспечивает высокий суммарный световой поток и большую осевую силу света. Но световое пятно из-за aberrаций оптической системы имеет неодинаковый цвет в центре и по краям, а главное, из-за неравномерного отвода тепла с краев матрицы и из ее середины светодиоды нагреваются по-разному, и, соответственно, по-разному изменяется их цвет в процессе старения – суммарные цветовая температура и цвет «плывут» за время эксплуатации. Это неприятное явление достаточно сложно и дорого скомпенсировать. Белые светодиоды с люминофорами существенно дешевле, чем светодиодные RGB-матрицы (в пересчете на единицу светового потока), и позволяют получить хороший белый цвет. Недостатки же у них таковы: во-первых, у них меньше, чем у RGB-матриц, светоотдача из-за преобразования света в слое люминофора; во-вторых, достаточно трудно точно проконтролировать равномерность нанесения люминофора в технологическом процессе и, следовательно, цветовую температуру; и наконец в-третьих – люминофор тоже стареет, причем быстрее, чем сам светодиод. Промышленность выпускает как светодиоды с люминофором, так и RGB-матрицы – у них разные области применения.

Одна из основных характеристик эффективности светодиода – внешний квантовый выход. Квантовый выход – это число излученных квантов света на одну рекомбинированную электронно-дырочную пару. Различают внутренний и внешний квантовый выход. Внутренний – в самом *p-n*-переходе, внешний – для прибора в целом (ведь свет может поглощаться, рассеиваться). Внутренний квантовый выход для хороших кристаллов с хорошим теплоотводом достигает почти 100 %, рекорд внешнего квантового выхода для красных светодиодов составляет 55 %, а для синих – 35 %.

Говоря о температуре светодиода, необходимо различать температуру на поверхности кристалла и в области *p-n*-перехода. От первой зависит срок службы, от второй – световой выход. В целом с повышением температуры *p-n*-перехода яркость светодиода падает, потому что уменьшается внутренний квантовый выход из-за влияния колебаний кристаллической решетки. Поэтому очень важен хороший теплоотвод. Падение ярко-

сти с повышением температуры не одинаково у светодиодов разных цветов. Оно больше у AlGaInP- и AeGaAs-светодиодов, то есть у красных и желтых, и меньше у InGaN, то есть у зеленых, синих и белых.

В рабочих режимах ток экспоненциально зависит от напряжения и незначительные изменения напряжения приводят к большим изменениям тока. Поскольку световой выход прямо пропорционален току, то и яркость светодиода оказывается нестабильной. Поэтому ток необходимо стабилизировать. Кроме того, если ток превысит допустимый предел, то перегрев светодиода может привести к его ускоренному старению. Яркость светодиодов очень хорошо поддается регулированию, но не за счет снижения напряжения питания – этого-то как раз делать нельзя, – а методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ), для чего необходим специальный управляющий блок (он может быть совмещен с блоком питания и конвертором, а также с контроллером управления цветом RGB-матрицы). Метод ШИМ заключается в том, что на светодиод подается не постоянный, а импульсно-модулированный ток, причем частота сигнала должна составлять сотни или тысячи герц, а ширина импульсов и пауз между ними может изменяться. Средняя яркость светодиода становится управляемой, в то же время светодиод не гаснет.

Считается, что светодиоды исключительно долговечны. Но в то же время чем больший ток пропускается через светодиод в процессе его службы, тем выше его температура и тем быстрее наступает старение. Поэтому срок службы у мощных светодиодов короче, чем у маломощных сигнальных, и составляет в настоящее время 20–50 тыс. часов. Старение выражается в первую очередь в уменьшении яркости. Когда яркость снижается на 30 % или наполовину, светодиод надо менять. Старение светодиода связано не только со снижением его яркости, но и с изменением цвета. Правда, в настоящее время нет стандартов, которые позволили бы выразить количественно изменение цвета светодиодов в процессе старения и сравнить с другими источниками.

Раньше в светодиодных сборках было очень много светодиодов. Сейчас, по мере увеличения мощности, светодиодов становится меньше, зато оптическая система, направляющая световой поток в нужный телесный угол, играет все большую роль.

В светодиоде, в отличие от лампы накаливания или люминесцентной лампы, электрический ток преобразуется непосредственно в световое излучение, и теоретически это можно сделать почти без потерь. Светодиод (при должном теплоотводе) мало нагревается, что делает его незаменимым для некоторых приложений. Далее, светодиод излучает в узкой части спектра, его цвет чист, что особенно ценят дизайнеры, а УФ- и ИК-излучения отсутствуют. Светодиод механически прочен и исключительно надежен, его срок службы может достигать 100 тыс. часов, что почти в 100 раз больше, чем у лампочки накаливания, и в 5–10 раз больше, чем у люминесцентной лампы. Наконец, светодиод – низковольтный электроприбор, а стало быть, безопасный. Плох светодиод только одним – ценой. Пока что цена одного люмена, излученного светодиодом, в 50 раз выше, чем галогенной лампой.

Яркость светодиода характеризуется световым потоком и осевой силой света, а также диаграммой направленности. Существующие светодиоды разных конструкций излучают в телесном угле от 4 до 140 градусов. Для сравнения эффективности светодиодов между собой и с другими источниками света используется светоотдача: величина светового потока на один ватт электрической мощности.

Спектр излучения светодиода близок к монохроматическому, в чем его кардинальное отличие от спектра солнца или лампы накаливания. В то же время какие-либо данные о вредном воздействии светодиодов на человеческий глаз отсутствуют.

Светодиоды находят применение практически во всех областях светотехники, за исключением освещения производственных площадей, да и там могут использоваться в

аварийном освещении. Светодиоды оказываются незаменимы в дизайнерском освещении благодаря их чистому цвету, а также в светодинамических системах. Выгодно же их применять там, где дорого обходится частое обслуживание, где необходимо жестко экономить электроэнергию и где высоки требования по электробезопасности.

Существуют программы энергосберегающего освещения на базе светодиодных технологий. Согласно этих программ, предлагается использовать светодиоды в опытном строительстве, ЖКХ и других областях. Например, светодиодные светильники будут устанавливаться в подземных переходах, подъездах, на лифтовых площадках, то есть там, где не нужна большая освещенность, но требуется минимум обслуживания и энергозатрат.

Литература

1. Журнал «Светотехника». – 2003. – № 3; – 2004. – № 6; – 2005. – № 4.
2. www.prolightopto.ru.
3. www.ledz.org.
4. www.ccs-inc.co.jp.

УДК 621.311

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖИЛЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ОБЪЕКТОВ

Василевский Ю.Л.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

Основная задача нормирования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – обеспечить применение при планировании и в производстве технически и экономически обоснованных прогрессивных норм расхода топлива, тепловой и электрической энергии для рационального распределения энергоресурсов и наиболее эффективного их использования.

Разработка единых методических и организационных принципов нормирования расхода ТЭР осуществляется Департаментом по энергоэффективности Госстандарта РБ. Нормирование расхода ТЭР осуществляется в соответствии с законодательством Республики Беларусь, постановлениями директивных органов по вопросам энерго- и ресурсосбережению, ведомственными методиками и инструкциями.

Нормированию подлежат все расходы тепловой и электрической энергии на основные и вспомогательные нужды, независимо от объема потребления.

Норма расхода ТЭР – это мера потребления этих ресурсов на единицу продукции определенного качества в планируемых условиях производства.

Классификация норм расхода ТЭР. Нормы расхода ТЭР классифицируются по следующим основным признакам:

– по степени агрегации объектов нормирования – на индивидуальные и групповые;

– по составу расходов – на технологические и общепроизводственные;

– по периоду действия – на текущие (квартальные, годовые) и перспективные.

Индивидуальная норма – это норма расхода на производство единицы продукции, которая устанавливается по однотипным технологическим агрегатам, установкам, применительно к планируемым условиям производства продукции (работы).