

УДК 621.3.087.351

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРОЖЕКТОРНЫХ, ИЛЛЮМИНАЦИОННЫХ И ИНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**П.П. РЕДЬКО, О.А. КИЗИНА, И.С. РУСЕЦКИЙ**
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены неисправности, возникающие при эксплуатации прожекторных, иллюминационных и других устройств, а также основные вопросы, связанные с повышением надежности осветительных приборов, в основе которых лежат простые физические принципы.

Освещены факторы, негативно воздействующие на продолжительность работы, связанные с условиями эксплуатации. Предложены доступные способы повышения надежности и долговечности прожекторных и прочих осветительных устройств, дополняющие и корректирующие стереотипные направления, а также приведены некоторые конкретные схемотехнические решения для их практической реализации. Важным аспектом является ориентация предложенных способов на серийно выпускаемую отечественную элементную базу и общеизвестные законы физики и электротехники. Применение предложенных конструктивных решений в реальных условиях позволит повысить срок службы и надежность функционирования галогенных прожекторов как наиболее распространенных на сегодняшний день осветительных устройств без значительного увеличения затрат на их обслуживание и эксплуатацию.

Ключевые слова: осветительные устройства, надежность, светодиодная излучающая матрица, галогенные лампы, соединительные клеммы, ограничительный элемент, перепады напряжения в питающей сети.

Введение. Опыт эксплуатации современных светотехнических устройств показывает, что некоторые их разновидности обладают недостаточно высокой надежностью и долговечностью. В настоящее время продление срока их службы в виде разовых ремонтов выполняется, как правило, путем блочной замены, что не всегда оправданно, поскольку требует наличия резерва блоков, а это при широкой номенклатуре используемых изделий затруднительно. Ошибочное определение неисправного блока при этом может привести к дополнительным повреждениям и удорожанию ремонта. В то же время сами ремонты при частых отказах изделий приближают их полный выход из строя. Дополнительные трудности создает необходимость осуществления специальной экологически безопасной утилизации выбракованных изделий, что не всегда соблюдается.

Вместе с тем в ряде случаев самопроизвольное прекращение освещения не только нежелательно, но и опасно, например, освещение операционных, помещений во время проведения мероприятий, связанных с большим скоплением людей, ночное освещение городских улиц, особенно в районах расположения пешеходных переходов и т.д.

Целью данной статьи является разработка эффективных способов повышения надежности и увеличения срока службы светотехнических устройств на примере галогенных прожекторов, в основу которых положены основные физические процессы, протекающие в нити накала.

Ниже представлены простые и эффективные схемотехнические решения, дополняющие стереотипные направления, но выгодно отличающиеся от них вследствие ориентации на отечественную, серийно выпускаемую элементную базу, что ведет к повышению срока службы осветительных устройств.

Постановка задачи. К снижению надежности и долговечности осветительных и других радиоэлектронных устройств приводят, как правило, следующие факторы:

- чрезмерная схемотехническая усложненность, применение в составе устройств отдельных редко используемых элементов, не выпускаемых отечественной радиоэлектронной промышленностью, приводящие к увеличению издержек и продолжительности ремонта, вплоть до его невозможности в исключительных ситуациях, что сокращает срок службы изделия;
- отсутствие в комплектности изделий необходимой эксплуатационной документации, технических описаний и т.п., наличие в приборе элементов без маркировки и каких-либо опознавательных знаков;
- приведение изготовителем на выпускаемые устройства предельно допустимых технических данных и условий эксплуатации в качестве номинальных, провоцирующее перегрузки, превышения температуры и влажности, тем самым влекущее сокращение срока службы;
- характерное для современной аппаратуры чрезмерное снижение массогабаритных показателей, зачастую не обоснованное и в ряде случаев приводящее к критическому снижению показателя ремонтно-пригодности изделий;

– обслуживание светотехнических устройств неподготовленными или низкоквалифицированными специалистами, снижающее срок службы изделий и качество их ремонта, а также сроки между ремонтами [1].

В силу перечисленного выше, некоторый процент светотехнического оборудования традиционно-му ремонту и продолжению срока службы не подлежит.

Известные традиционные пути повышения надежности и долговечности осветительных и других электрорадиотехнических устройств включают повышение надежности элементной базы, монтажа, технологии изготовления печатных плат, а также надежности схмотехнических разработок.

Схмотехнические решения, представленные ниже, полностью учитывают указанные ограничения и позволяют достичь повышения надежности и долговечности прожекторных устройств, не внося значительных усложнений в их конструкцию и не повышая существенно стоимость их изготовления и эксплуатации.

Достигнутые результаты и их обсуждение. Установлено, что одна из наиболее частых неисправностей прожекторных, иллюминационных и иных светотехнических устройств – перегорание галогенных ламп, а также оплавление их соединительных звеньев и клемм. Это связано с перепадами напряжения питающей сети, использованием малогабаритных прожекторных устройств в закрытых отапливаемых помещениях с ограниченным движением воздушных масс, повышенной температурой окружающей среды, что ведет к перегреву нити накала и ее перегоранию. Питание ламп от одной сети с электро-сварочным, режущим и иным мощным электрооборудованием сопровождается скачкообразным изменением питающего напряжения, что также отрицательно сказывается на их долговечности. В итоге ремонт заключается в замене перегоревшей лампы.

У прожекторных устройств со светодиодными матричными излучателями, например, «Feron» LL-275 (50 Вт) и аналогичных, существенные перепады питающего напряжения также приводят к частому выходу из строя светоизлучающего элемента. Кроме этого, у этого типа осветителей уязвимым звеном является источник питания.

Для галогенных прожекторов возможным вариантом повышения надежности и долговечности представляется использование в цепи питающего напряжения совместно с пусковым блоком ограничительного элемента (рис. 1).

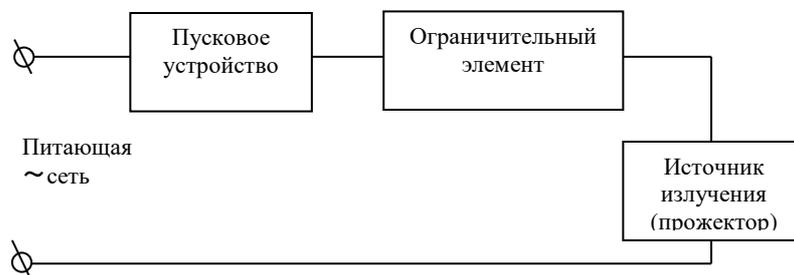


Рисунок 1. – Схема прожектора галогенного типа с ограничительным звеном

Эти элементы включаются последовательно в любом порядке относительно питающей сети. Известно, что сопротивление металла имеет прямую зависимость от температуры. Исходя из этого пусковое устройство необходимо для плавного нарастания питающего напряжения на время разогрева нити накала в лампе. Ограничительный элемент снижает перегрузку излучателя (лампы) при завышенных перепадах напряжения, не оказывая существенного влияния на интенсивность светового потока.

Для питающего напряжения ~ 220 В представляется целесообразным выбрать занижение напряжения на ~ 10 В (4,5 %). Для мощности прожектора 500 Вт и потребляемого тока 2,27 А рассеиваемая мощность ограничительного элемента составляет 22,7 Вт (стандартный номинал 25 Вт) при его сопротивлении 4,4 Ом. В этом случае можно использовать резистор заводского изготовления, например, типа ПЗВ-25 с ближайшим стандартным значением номинального сопротивления или изготовленный самостоятельно из высокоомного провода. Для указанного резистивного сопротивления 4,4 Ом при токе 2,27 А может быть использован высокоомный провод с удельным сопротивлением $\rho = 0,01176 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{мм}$ диаметром $d = 0,35 \text{ мм}$ и длиной $l = 36 \text{ мм}$ [2, 6]. Теоретический расчет сопротивления осуществляется по формуле $R = \rho \frac{l}{S}$, где ρ – удельное сопротивление материала проводника, Ом·м; l – длина проводника, м;

S – площадь поперечного сечения проводника, мм².

Монтируют резистор-ограничитель на внешней стороне прожектора одножильным изолированным проводником, приняв меры по изоляции токоведущих элементов.

При оплавлении слаботочных соединительных клемм рекомендуется заменить их соединителями из керамики, используемыми в лампах дневного освещения, для подключения люстр, например типа Б310 или термостойких пластмасс.

В критических ситуациях перепад питающего напряжения может вызвать оплавление клемм самого пускового устройства. При систематическом оплавлении пускового устройства замедленного включения можно заменить его более мощным аналогом или использовать согласованное включение двух таких устройств.

В прожекторах со светодиодной излучающей матрицей для защиты излучателя от перепадов питающего напряжения может быть использован диодный ограничитель, включенный последовательно между блоком питания и осветительным устройством как показано на рисунке 1. Включение диода при этом прямое. Для прожекторов типа «Fegon» LL-275 (50 Вт), «Nazar» (50 Вт) и их аналогов может быть использован диод КД202А, Б с применением охлаждающего радиатора.

В тех же целях можно использовать и стабилизаторы тока с включением их на выходе блока питания. Величина занижения питающего напряжения в данном случае определяется экспериментально при номинальном значении напряжения питающей сети.

Другой значимой проблемой прожекторных и прочих осветительных устройств часто является неисправность питающего устройства. При неисправностях блока питания и невозможности его заменить, может быть реализована альтернативная емкостно-преобразовательная схема (рис. 2)

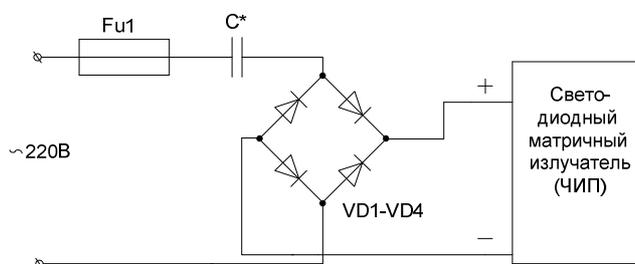


Рисунок 2. – Емкостно-преобразовательная схема питания прожекторов класса «Fegon» и аналогичных

При напряжении питания 220 В конденсатор C^* должен быть неполярным, рассчитанным на максимальное рабочее напряжение не менее 320 В [1, 2], например типа К73-17. Емкость рассчитывают относительно питающего напряжения, потребляемого номинального тока и напряжения излучателя. Например, при питающем напряжении 220В и напряжении на осветительном устройстве 25 В при потребляемом им токе 0,1А, емкость C^* составит 1,6 мкФ [3]. При этом потерями на диодном выпрямителе в расчетах можно пренебречь.

Конкретные марки диодов для выпрямителя подбираются специалистом самостоятельно на основании предъявляемых к устройству конструктивных, электротехнических, эксплуатационных и прочих требований. Для приведенных значений токов и напряжений можно использовать диодные выпрямители КЦ402, КЦ405 с разновидностями Г (А, Б, В, И, Ж).

Допустимый ток предохранителя $Fu1$ при токе прожектора 0,1 А должен превышать номинальный (не менее чем на 30%) и составлять величину, например, 0,16 А. Конкретное значение определяется специалистом экспериментально.

Дополнительным преимуществом предложенной емкостной схемы ограничения питающего напряжения является снижение энергопотребления осветительным устройством в 10–20 раз, что обуславливает примерно такое же снижение массогабаритных показателей. Существенно снижается себестоимость даже с учетом затрат на изготовление и монтаж схемной реализации, повышается ремонтно-пригодность осветительного устройства. Кроме того, представленное техническое решение является простым и использует отечественную элементную базу.

Для прожекторов со светодиодными излучателями без внутренней реконструкции возможно применение в качестве ограничителей питающего напряжения схемных стабилизаторов напряжения.

Кроме указанных путей повышения надежности прожекторов галогенного типа возможны также применение принудительного охлаждения, а также работа с открытым или полуоткрытым кожухом во избежание перегрева электрорадиоэлементов.

В сувенирных иллюминационных осветительных устройствах наиболее частым дефектом является хаотическое мигание или неработоспособность осветительной газоразрядной U-образной лампы, управляемой электронной схемой поджига.

При невозможности замены лампы предлагается организация подсветки устройства путем использования маломощных ламп накаливания типа CM-220-15, применяемых в качестве подсветки холодильников, швейных машинок, а также ламп типа «Feron» с напряжением питания 220 В и потребляемой мощностью 6...8 Вт и т.п., включенных по емкостной схеме (рис. 3).

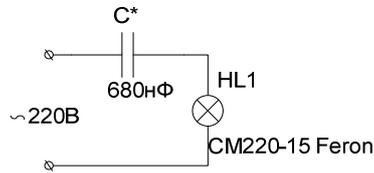


Рисунок 3. – Емкостная схема понижения напряжения питания газоразрядных ламп

Лампу монтируют путем пайки одножильными медными изолированными проводами или с патроном под соответствующий цоколь вместо существующего устройства подсветки, предварительно снизив световую энергию и энергию теплового излучения до значений, обеспечивающих отсутствие перегрева и оплавления осветительной декоративной пленки устройства при достаточной величине освещенности. Этот процесс выполняют, используя резистивный гасящий элемент или регулятор напряжения, при котором определяется номинальное напряжение осветителя, например, 90 В. При мощности 15 Вт и напряжении питания 220 В ток, потребляемый лампой, составит 0,068А. Соответствующее ему сопротивление – 3235 Ом. При напряжении осветителя 90 В ток лампы снизится до 0,028 А. Сопротивление емкостного элемента составит 4643 Ом.

Из выражения, определяющего сопротивление емкостного элемента, легко определить необходимую для этого емкость. В данном случае она составит 0,68 мкФ или 680 нФ. При этом следует использовать неполярные конденсаторы типа К73-17 и аналогичные им с учетом номинального рабочего напряжения.

С целью защиты от перепадов напряжения в питающей сети для снижения напряжения в 2 раза возможно и применение обратно включенного диода, рассчитанного на допустимое обратное напряжение не менее 250 В и выдерживающего ток нагрузки [3]. Данное конструкторское решение поясняется на рисунке 4.

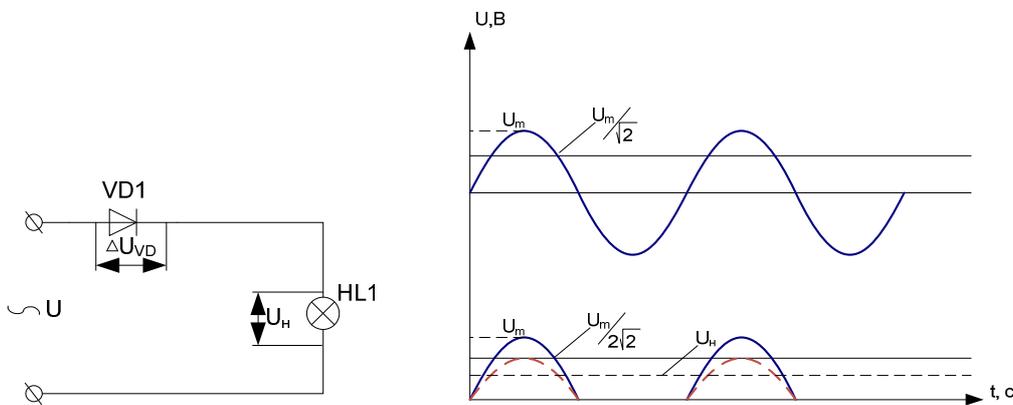


Рисунок 4. – Схема уменьшения переменного напряжения в 2 раза с использованием обратно включенного диода

Причиной понижения U_m является снижение напряжения нагрузки $U_H = U - \Delta U_{VD}$ за счет потерь на диоде, которое составляет 0,25...3,0 В. ΔU_{VD} определяются по справочным данным на соответствующий тип прибора или экспериментально. При условии, что питающее напряжение $U \gg \Delta U_{VD}$, принимая во внимание колебания питающего напряжения и разброс параметров осветителей, в ряде случаев потери можно не учитывать.

Методика емкостного гашения переменного напряжения изложена также в [4].

Аналогичное двукратное понижение напряжения в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 3, можно реализовать с помощью диода, включив его как показано на рисунке 5. При этом возможно получить двухуровневый режим работы: при включении выключателя SA1 обеспечивается дежурный (половинный) режим освещения, а при включении SA2 – рабочий (полный).

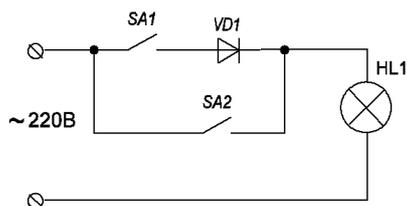


Рисунок 5. – Двухвыключательное управление питающим напряжением

Допустимый ток диода составляет величину не менее $I_{ном}/2$. Для HL1 (потребляемой мощностью 100 Вт и током $I = P / (2U) = 100 / (2 \cdot 220) = 0,22$ А) может быть использован малогабаритный диод типа Д226Б (и/или В) без дополнительного охлаждения. Малогабаритные диоды КД209А, Б, В обеспечат коммутируемую мощность до 250 Вт включительно.

В современных условиях к осветительным устройствам также предъявляются требования по снижению энергопотребления. Этого можно достичь двумя способами – использованием в устройствах современных энергосберегающих светоизлучающих элементов и эксплуатацией уже установленных прожекторов в энергоэффективном режиме. Последний может быть реализован в том числе за счет использования представленных в статье конструкторских решений. Этот способ представляется предпочтительным. Энергосберегающие лампы содержат ртуть и другие токсичные металлы и требуют проведения специальных мероприятий по утилизации, что не всегда соблюдается на практике и увеличивает затраты на эксплуатацию. В то же время внедрение энергосберегающего режима практически не требует дополнительных расходов, помимо разовых затрат на изготовление и монтаж ограничительных схем.

Для ламп дневного освещения с электронной схемой управления, используемых в неблагоприятных условиях, например, в теплицах с повышенной влажностью и т.п., и требующих периодического ремонта, рекомендуется применение блока питания по традиционной схеме, изображенной на рисунке 6.

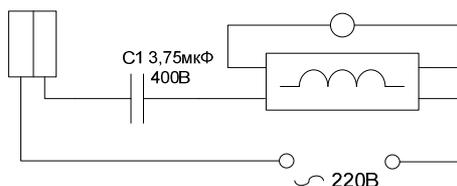


Рисунок 6. – Схема питания ламп дневного света

В переносных лампах с сенсорным управлением яркостью свечения и невозможностью восстановления рекомендуется использование надежных тиристорных или симисторных схем ручного регулирования, реализованных в соответствии с рисунком 7.

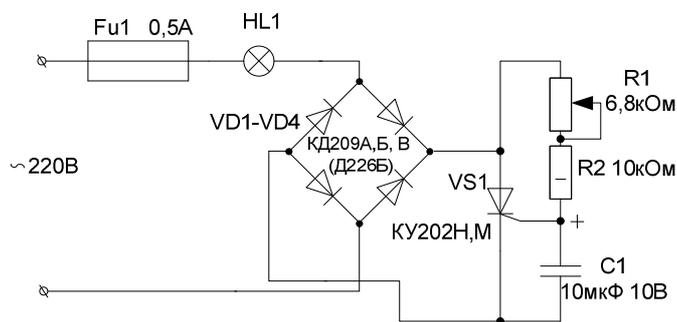


Рисунок 7. – Схема тиристорного регулирования яркостью освещения

Конденсатор, в целях продолжительности работы, предпочтительнее использовать оксидный или неполярный. Конструктивно регулятор может быть выполнен в виде отдельного блока с соответствующими разъемами или встроенным, вместо сенсорного блока управления.

Заключение. Реализация рассмотренных путей повышения надежности и долговечности осветительных и электротехнических устройств позволит снизить сложность, ресурсо- и материалоемкость их технической эксплуатации, уменьшить финансовые издержки на техническое обслуживание, улучшить

экологическую обстановку вследствие количественного снижения объемов утилизируемых устройств. Также это позволит повысить срок службы осветительных устройств и надежность их функционирования.

Ориентация на отечественную элементную базу в представленных схмотехнических решениях также способствует снижению финансовых затрат на их внедрение.

Из рассмотренных способов предупреждения неисправностей галогенных прожекторов наиболее рациональным представляется включение в питающую цепь ограничительного устройства (диодного ограничителя) между пусковым устройством и прожектором во избежание его выхода из строя вследствие перепада питающего напряжения.

Кроме того, представляется целесообразным заменять слаботочные соединительные клеммы прожекторов на соединители из термостойких пластмасс или керамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Челноков, А.А. Основы экологии : учеб. пособие / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко, И.Н. Жмыхов ; под ред. А.А. Челнокова. – Минск : Высш. шк., 2012. – 543 с.
2. Справочник по электротехнике / под ред. А.А. Иванова. – Киев : Вища школа, 1972.
3. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам / под общ. ред. Н.Н. Горюнова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Энергия, 1976.
4. Завистовский, С.Э. Зарядно-питающие устройства на основе емкостных элементов / С.Э. Завистовский, П.П. Редько // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2013. – № 12. – С. 106–111.
5. Завистовский, С.Э. Питание электрорадиотелекоммутерной техники от автомобильных аккумуляторов / С.Э. Завистовский, П.П. Редько // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2014. – № 12. – С. 63–68.
6. Макаренко, Г.М. Курс общей физики / Г.М. Макаренко. – Минск : Дизайн ПРО, 2003. – 64 с.

Поступила 19.03.2018

INCREASING THE RELIABILITY AND LONG-TERM PERFORMANCE OF ILLUMINATED, ILLUMINATION AND OTHER LIGHTING DEVICES

P. REDKO, O. KIZINA, I. RUSSETSKI

The main malfunctions, that arise when searchlight, illuminating and other lighting devices are operating, are considered in this article, influencing factors, negatively affecting their performance characteristics are illuminated here too. The available ways to increase the reliability and longevity of floodlight and other lighting devices, supplementing and correcting stereotyped directions are suggested and also some specific circuit-based solutions for their practical implementation are presented here. An orientation of the proposed methods to the mass-produced domestic element base and the generally known laws of physics and electrical engineering is an important aspect of these solutions. The application of the proposed design solutions in real conditions allows to increase the service life and reliability of the halogen floodlights as the most common lighting devices to date without significant increasing of their maintenance and operation costs.

Keywords: lighting devices, reliability, LED emitting matrix, halogen lamps, connecting terminals, limiting element, voltage drops in the supply network.