

ОЛЕГ ЗОТИН
o_zotin@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ГОРОДСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ. ОТ РЕТРОСПЕКТИВЫ К ПЕРСПЕКТИВЕ ЧАСТЬ 2. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СВЕТОМ

Первая часть статьи была посвящена развитию масляного и газового городского освещения и влиянию на него вопросов автоматизации. Во второй части подвергнем анализу проблемы автоматизации в сменяющихся друг друга видах электрического освещения: от накаливаемого к газоразрядному и далее к светодиодному.



*Кто раз узнал, где правда
и откуда свет, —
тот (уже) не захочет
топтаться в потёмках.
Н. С. Лесков.
Из письма сыну. 1891 г.*

В доэлектрическую эпоху жизнь городов после захода Солнца почти сразу же замирала. Искусственное (свечное, лампадное, газовое) освещение использовалось в вечернее время для чтения, рукоделия и отхода ко сну. С наступлением эры электрического света, как отмечал Маршалл Маклюэн (Marshall McLuhan), «был положен конец распорядку дня и ночи, пребывания дома и вне дома,...а столкновение света с уже существующими образцами человеческой организации привело к высвобождению огромной энергии» [1].

Электрическая революция породила целый ряд новых технологий и привела к введению многосменной работы на высокопроизводительном оборудовании и в конвейерном производстве, что революционным образом повлияло на темпы индустриализации. Вслед за этим и разнообразные формы досуговой организации стали стремительно распространяться на вечернее и ночное время. Автомобилисты ночь напролет стали носиться по освещенным улицам, футболисты заиграли на полях с искусственным освещением; культурно-развлекательные мероприятия, в т.ч. посещения театров, клубов, стадионов, аттракционов, музеев и супермаркетов, перестали ограничиваться световым днем. «Таким образом, приобщение к электрическому свету произвело тотальное изменение уклада жизни» [1].

Для рядовых горожан Старого и Нового Света революция в городском освещении воспринималась не только как улучшение утилитарного вечернего освещения, но и как тотальное нашествие назойливой неоновой рекламы. Характерно, что в то время эффективность преобразования основного вида используемой энергии (энергии ископаемого топлива) в электроэнергию и далее в свет была довольно низка. В последующие несколько десятилетий прогресс в генерации и распределении электроэнергии, а также в эффективности источников света оказал значительное влияние на все стороны жизни. Так коэффициент

полезного действия (КПД) тепловых электростанций возрос от $\approx 15\%$ до $\approx 30\%$, КПД линий электропередачи с трансформаторными подстанциями — от $\approx 75\%$ до $\approx 90\%$, КПД ламп — от скромных $\approx 2\%$ у лампы накаливания с угольной нитью до $\approx 4\%$ у лампы с вольфрамовой нитью, далее — до 7–10% (ртутные лампы низкого и высокого давления) и даже до 15–25% (натриевые лампы высокого давления и светодиоды). Однако, несмотря на многократное возрастание общего КПД от $\approx 0,2\%$ до $\approx 6\%$, все же львиная доля энергии, добываемой человечеством для целей освещения, уходит на тепловое загрязнение. При этом вопросы повышения эффективности преобразования энергии необходимо рассматривать наравне с вопросом энергосбережения, составными частями которого являются не только прогресс в эффективности источников света, но и обеспечение необходимого и достаточного количества света в нужном месте и в нужное время, в том числе методами энергоэффективного управления.

УПРАВЛЕНИЕ НАКАЛЬНЫМ СВЕТОМ

Широкое внедрение электрических ламп накаливания предъявило весьма существенные требования к одновременно развивавшимся электрическим сетям, поскольку в то время лампы, наряду с первыми электродвигателями, были двумя главными потребителями электроэнергии. Именно тогда, в ходе т.н. «войны токов», произошел не только переход с постоянного на переменное напряжение в электропитании сетей, но и определилось расхождение Старого и Нового Света по номинальным значениям напряжения и частоты потребительской сети. Чересполосица номиналов 220 и 110 В, 50 и 60 Гц [2], порожденная амбициями и конкурентной борьбой личностей и фирм того времени, лежит отягчающим наследием на современном глобальном электрическом мире, хотя на бытовом уровне и воспринимается чаще всего как досадное недоразумение.

Важнейшее практическое, экономическое и системологическое влияние на первые шаги внедрения электричества оказало то, что лампы накаливания оказались чрезвычайно чувствительными к изменению

напряжения питания. Так, вблизи номинального напряжения световой поток вольфрамовой нити накаливания пропорционален значению напряжения в степени 3,4 ($U^{3,4}$), потребляемая мощность пропорциональна $U^{1,6}$, а срок службы пропорционален U^{-16} (!) [3]. На практике это означает, что увеличение рабочего напряжения всего на 5% приводит к снижению срока службы лампы в два раза при увеличении ее светового потока всего на $\approx 16\%$ (рис. 1). Таким образом, в системах с лампами накаливания необходимо иметь весьма высокую стабильность напряжения питания.

Необходимо отметить, что управление световым потоком ламп накаливания (т.н. «диммирование») со скромной энергоэффективностью, пропорциональной $U^{1,8}$, уступает по экономичности регулированию даже керосиновой лампе, которое обеспечивается изменением рабочей площади фитиля.

Отметим еще и то, что малое сопротивление вольфрамовых нитей накаливания в холодном состоянии приводит к большим пусковым токам, существенно снижающим срок службы ламп и создающим просадки в электросети.

Простейшие варианты реостатного и автотрансформаторного управления током лампы весьма неэффективны. Тем не менее, они использовались и используются в тех случаях, когда необходимо медленное гашение света для комфортного перехода зрительной системы к темноте (в кинозалах и театрах, при засыпании детей и т. п.). Эти варианты электропитания ламп применялись и тогда, когда требовалось увеличение их срока службы, например для труднодоступных и герметичных светильников, а также для аварийного освещения. На практике же основ-

РИС. 1. ▽
Характеристики ламп
накаливания

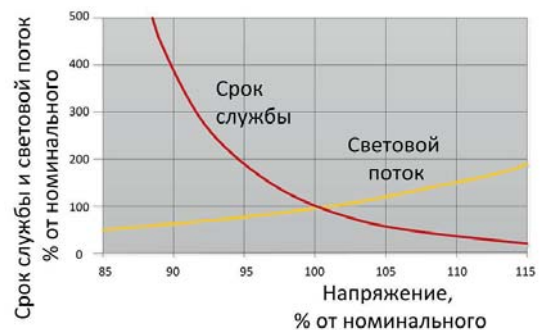
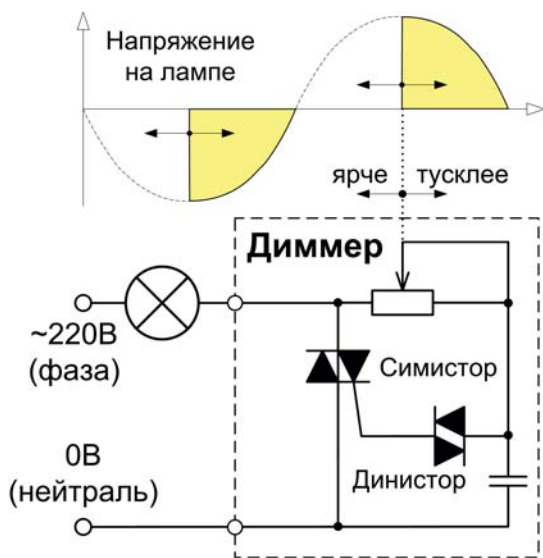


РИС. 2. ▼
Диммер на симисторе



ным вариантом управления светом в помещениях признана простейшая коммутация ламп в многоламповых светильниках. Действительно, всего двумя выключателями легко скомутировать четырехламповую люстру с двумя лампами на 60 Вт и двумя на 100 Вт для получения трех уровней освещенности. При этом обеспечивалось горение ламп общей мощностью 120, 200 и 320 Вт. Таким образом, если появление многосвечных люстр можно объяснять невозможностью создания свечи с большим световым потоком, то широкое применение многоламповых люстр во многом объясняется лучшей

эффективностью управления светом за счет простого переключения электрических цепей.

Характерно, что и в наружном освещении (НО) долгое время наиболее популярным способом энергосбережения была т.н. «пофазная» коммутация светильников, когда при снижении интенсивности движения транспорта считалось вполне допустимым отключать одну-две фазы трехфазных линий электропитания, оставляя в «ночном» режиме включенными 2/3 или 1/3 светильников в каждой линии освещения соответственно.

Следующим этапом в управлении накаливаемыми лампами стало появление в 1960-х годах т.н. диммеров на первых управляемых полупроводниковых силовых приборах — тиристорах, а затем и на симметричных тиристорах (симисторах), иногда называемых триаками (triode for alternating current), которые уменьшили габариты регуляторов до размеров обычных выключателей. Их обычно так и использовали, вставляя в разрыв цепи, питающей лампу, вместо или вместе с выключателем. В простейшем варианте исполнения (рис. 2) такой диммер содержит симистор, динистор (диак) и управляющую фазосдвигающую RC-цепь. Малоизвестно, что симистор был впервые запатентован в СССР в 1963 г. [4], на полгода раньше, чем триак в США Ф. Джентри и Ф. Гутцвиллем (сотрудниками GE).

Отметим, что фазовое управление дополнительно усугубляет неэффективность диммирования ламп накаливания, поскольку глубокое регулирование с помощью изменения угла фазовой отсечки напряжения приводит еще и к ухудшению коэффициента мощности (КМ), увеличению коэффициента гармоник в потребляемом токе и возрастанию высокочастотных помех в питающей сети, что проиллюстрировано на рис. 2 сверху. С появлением выключаемых тиристоров и полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов появилась возможность т.н. инверсного управления (reverse phase controlling). При таком управлении (рис. 3) первая гармоника тока опережает первую гармонику напряжения питания, что при совместном использовании прямого и инверсного управления обеспечивает частичную компенсацию КМ, однако такое решение не нашло широкого применения.

В результате фазовое регулирование используется по большей части при управлении маломощными лампами накаливания. Общее число эксплуатируемых в настоящее время симисторных диммеров оценивается в несколько миллионов штук. Совместить эти диммеры с управлением позже появившихся газоразрядных и светодиодных ламп различного типа оказалось довольно сложно ввиду малой инерционности новых типов ламп и возникающих, вследствие этого, больших пульсаций светового потока.

В НО такие диммеры имели весьма ограниченное применение, поскольку в системах освещения с большой потребляемой мощностью достаточно сложно компенсировать невысокий и меняющийся КМ.

УПРАВЛЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ ЛАМПАМИ

Газоразрядные лампы всех типов, в отличие от ламп накаливания, как правило, подключаются к сети переменного напряжения через пускорегулирующую аппаратуру (ПРА), в простейшем случае (например для ртутных ламп высокого давления) представляющую собой дроссель. Он согласует малое динамическое сопротивление ламп с сетью и уменьшает пусковые токи.

РИС. 3. ▼
Выходное напряжение диммера с инверсным управлением

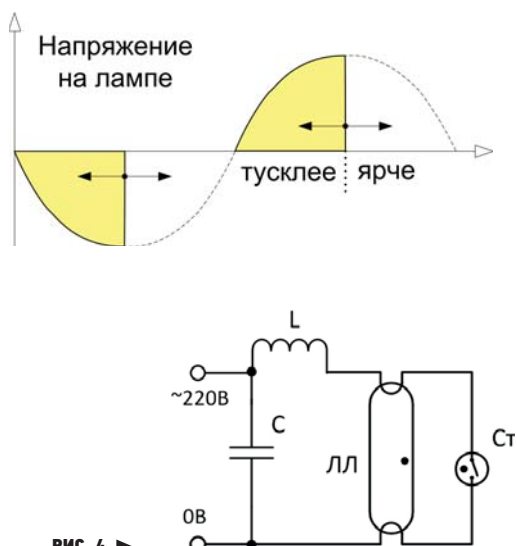
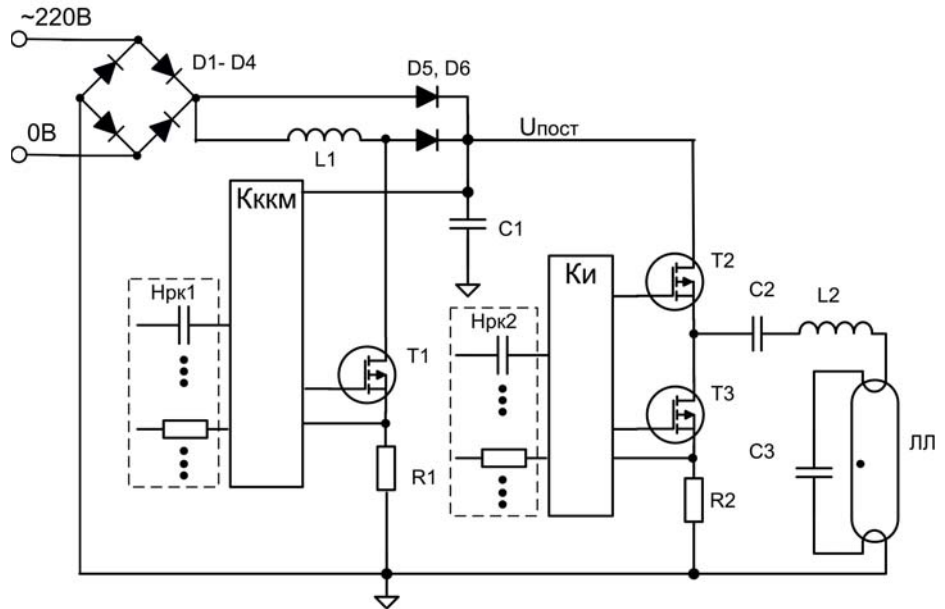


РИС. 4. ►
ПРА для ЛЛ

Первой массово применяемой газоразрядной лампой стала люминесцентная лампа (ЛЛ). Обеспечение нормальной работы ЛЛ потребовало автоматизации процесса ее пуска. Для начала следует разогреть ее вольфрамовые электроды с покрытием из щелочноземельных металлов для увеличения электронной эмиссии. После этого на электроды необходимо подать высоковольтный импульс для пробоя газового промежутка. Для решения этих двух задач была создана специальная малогабаритная неоновая лампа с встроенными биметаллическим контактом, т. н. «стартер» Ст. При подаче напряжения на ПРА (см. схему на рис. 4) в таком стартере возникает газовый разряд, который быстро разогревает биметаллический контакт. Контакт замыкается, обеспечивая прохождение тока через электроды ЛЛ и их разогрев за несколько секунд. В это время биметаллический электрод стартера остывает, поскольку прекращается разогревающее действие разряда, и размыкается. Импульс напряжения самоиндукции, возникающий в результате прекращения тока через дроссель L, обеспечивает зажигание ЛЛ. Поскольку рабочее напряжение ЛЛ не превышает половину сетевого напряжения, то его становится уже недостаточно для зажигания разряда в стартере и его повторного срабатывания. Для улучшения КМ этой схемы и для уменьшения сетевых помех часто используется конденсатор C, подключаемый параллельно питающему напряжению. Поскольку возбужденная плазма ЛЛ создает, в основном, ультрафиолетовое излучение, то для его превращения в видимый свет используется люминофор, нанесенный на внутреннюю сторону герметичной колбы.

Функционирование такой незамысловатой ПРА происходит с целым рядом существенных эксплуатационных недостатков, причем одним из важнейших является малый срок службы стартера, на контакт которого в момент размыкания воздействует высоковольтный импульс. Недостатки электромагнитных ПРА постепенно и поочередно устранялись с разработкой электронных ПРА (ЭПРА) на высоконадежных полупроводниковых элементах.

Современные ЭПРА для ЛЛ представляют собой уже довольно сложные электронные устройства. Они



имеют программируемые характеристики подогрева электродов и поджига разряда, а также программируемые защиты от перегрузки и перегрева. ЭПРА обеспечивают устранение эффектов пульсации (фликкера) и «моргания» в конце срока службы лампы и имеют ряд других эксплуатационных преимуществ, которые обеспечивают повышенную эффективность и увеличенный срок службы ЛЛ. Компактные ЛЛ (КЛЛ), а также малогабаритные линейные ЛЛ типоразмеров Т4 и Т5 (диаметром трубки 4/8" и 5/8" соответственно) с увеличенной светоотдачей (до 100 лм/Вт и более) получили право на существование благодаря существенному прогрессу в разработке ЭПРА. На рис. 5 представлен один из вариантов структурной схемы ЭПРА для линейной лампы Т5 (по материалам [5] и [6]). Запуск ЛЛ в этой схеме обеспечивается за счет изменения частоты генерации инвертора (выходного полумоста на КМОП транзисторах). При этом характеристики ЭПРА задаются (программируются) выбором номиналов резистивных делителей и RC цепей в наборах Нрк1 и Нрк2.

Работа ЭПРА существенно отличается от работы электромагнитного ПРА. Так, после подачи питания (старта) выпрямитель (D1-D4) и компенсатор коэффициента мощности (Кккм, Нрк1 и Т1) обеспечивают практически синусоидальную форму

потребляемого тока с минимизацией высших гармоник и высоким значением КМ >0,95. В этот момент инвертор (Ки, Нрк2, Т2 и Т3) находится в режиме микромощного потребления за счет повышенной частоты генерации f_c . Далее частота инвертора снижается до f_p (рис.6), обеспечивая необходимый ток разогрева электродов ЛЛ. Во время дальнейшего снижения частоты инвертора до $f_{мин}$ напряжение на ЛЛ повышается при приближении к частоте последовательного резонанса цепи L2-C3, что и обеспечивает зажигание разряда. После этого Ки переходит на рабочий режим на частоте $f_{раб} \approx 40$ кГц. Если лампа не зажигается, то Ки производит ограниченное число рестартов.

Для ламп Т5 характерна практически линейная зависимость рабочего

РИС. 5. ▲
Структурная схема ЭПРА для люминесцентной лампы Т5

РИС. 6. ▼
Изменение частоты инвертора при запуске ЛЛ

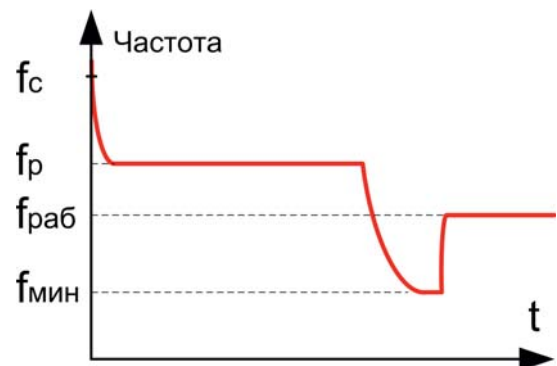
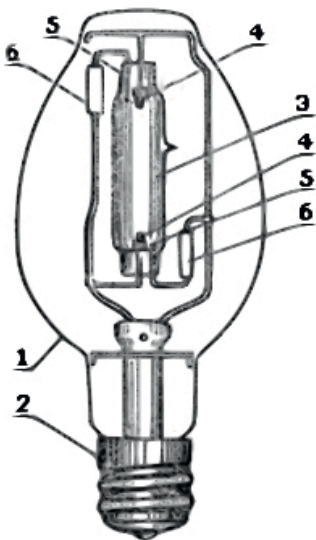


РИС. 8. ►
РЛВД

напряжения питания от мощности (и длины лампы). Так, лампам мощностью 14 Вт (с длиной колбы 549 мм) требуется напряжение 265 В, 28-Вт лампам (1149 мм) — 575 В, а 35-Вт лампам (1449 мм) — 720 В. Эти увеличенные значения напряжений обеспечиваются режимом работы повышающего преобразователя на Кккм и Т1.

Ввиду высокой энергоэффективности и удобства управления, люминесцентные лампы нашли широкое применение во внутреннем освеще-

РИС. 8. ►
НЛВД

нии зданий и сооружений, однако в наружном освещении они практически не применяются. Основной причиной этого является нестабильная работа ЛЛ при низких температурах, кроме того, большой размер тела свечения затрудняет получение необходимого для светильников НО светораспределения.

УПРАВЛЕНИЕ ЛАМПАМИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В первых ртутных лампах высокого давления (РЛВД) зажигание разряда паров ртути в горелке 3 (рис.7) осуществлялось за счет двух дополнительных электродов 5, подключенных перекрестно к основным электродам 4 через токоограничивающие резисторы 6. После подачи напряжения между дополнительными и основными электродами создаются два облачка тлеющего разряда, которые способствуют пробоем основного межэлектродного промежутка при номинальном напряжении сети 220 В с дальнейшим развитием в мощный дуговой разряд. Нанесенный на внутреннюю сторону внешней колбы 1 люминофор превращает ультрафиолетовое излучение разряда в белый свет. РЛВД через цоколь 2 и внешний дроссель (т. н. «балласт») подключается непосредственно к сети. Повышенная в сравнении с лампами накаливания светоотдача (до ≈ 40 лм/Вт) при широком температурном диапазоне работы обеспечила ртутным лампам (отечественная маркировка — ДРЛ) доминирующее положение в наружном освещении на долгие годы.

Для непосредственной замены ламп накаливания был разработан вариант РЛВД со встроенным «балластом» в виде вольфрамовой нити (маркировка — ДРВ), однако эффективность такой лампы оказалась существенно ниже.

Некоторое увеличение срока службы РЛВД было достигнуто в модификации лампы с трехэлектродной горелкой (с одним дополнительным электродом).

Существенная модернизация РЛВД с улучшением светоотдачи и других характеристик была обеспечена при добавке к ртути горелки галогенидов ряда металлов, что позволило получить необходимый спектр излучения плазмы и не использовать люминофор. Уменьшенное тело свечения улуч-

шило характеристики светораспределения светильников при меньших размерах светоотражателей, что весьма важно для НО. Такие лампы стали называться металлогалогенными (МГЛ). В них используется более прогрессивная двухэлектродная конструкция горелки, зажигание же обеспечивается пробоем газового промежутка внешним импульсным зажигающим устройством (ИЗУ). В современных малогабаритных конструкциях МГЛ внешняя колба отсутствует, и такие лампы могут применяться также и во взрывозащищенных миниатюрных светильниках внутреннего освещения.

С 1970-х годов в наружном освещении нашли применение натриевые лампы высокого давления — НЛВД (рис. 8). Они обладают наилучшей эффективностью из всех ламп высокого давления — до 150 лм/Вт и до настоящего времени являются наиболее распространенными в НО. Желтое «натриевое» свечение крупных городов на космических снимках стало ярким свидетельством нового витка развития земной цивилизации. В то же время на железных дорогах НЛВД не удалось потеснить РЛВД белого света ввиду того, что желтый свет считается неприемлемым для обеспечения безопасности движения железнодорожного транспорта. В дальнейшем это дало серьезные преимущества первым проектам светодиодного освещения на российских железных дорогах.

В ПРА для НЛВД были впервые использованы внешние ИЗУ с силовыми полупроводниковыми приборами (тиристорами). Такие схемы ПРА имели ряд эксплуатационных недостатков, в частности пульсацию светового потока с «перезажиганием» на частоте сети, существенную зависимость потока от напряжения питания, «моргание» в конце срока службы и пр.

Попытки регулирования светового потока высокоэффективных газоразрядных ламп (High Intensive Discharge, HID) в НО предпринимались с 1980-х годов. Первыми стали методы группового регулирования напряжения линий с помощью коммутации обмоток питающих их автотрансформаторов. После появления мощных симисторов, способных коммутировать до нескольких сотен ампер, такая технология энергосбережения нашла применение в НО ряда

крупных российских городов [7], однако экономический эффект оказался недостаточным для ее широкого внедрения.

В дальнейшем был разработан метод управления светильниками НО с лампами высокого давления путем коммутации обмоток дросселей ПРА, который позволил индивидуально изменять ток каждой лампы. Однако этот вариант требовал проводного управления и размещения дополнительных силовых реле в светильниках, что также не нашло всеобщего признания.

Начиная с 1990-х годов, развитие светильников НО пошло по пути создания ряда модификаций ЭПРА для ламп высокого давления. Это позволило постепенно избавиться от перечисленных выше недостатков светильников с ПРА, дополнительно получив повышенную светоотдачу и увеличенный срок службы ламп [7]. Современные схемы ЭПРА для металлогалогенных и натриевых ламп во многом повторяют ЭПРА для ЛЛ (схема на рис. 5). Наибольшее отличие наблюдается в схеме выходного инвертора, поскольку, в отличие от ЛЛ, имеющих наилучшую эффективность при рабочих частотах выше 10 кГц [6], для НЛВД предпочтительно иметь частоту электропитания, не превышающую 1 кГц из-за опасности возникновения т.н. «акустического резонанса». Ввиду этого инвертор чаще всего выполняется по мостовой схеме (рис. 9) без использования разделительного конденсатора. Зажигание лампы обеспечивается либо за счет дополнительной импульсной схемы зажигания, либо, как показано на рис. 9, за счет резонанса контура L1–C2 на высокой частоте. Контроллер инвертора Ки в современных разработках часто реализуется на сигнальном процессоре (Digital Signal Processor, DSP), чем обеспечивается возможность гибкого программирования работы ЭПРА с возможностью управления яркостью лампы за счет трехуровневой широтно-импульсной модуляции (ШИМ) ее рабочего тока. Для такого управления наиболее часто используются простейшие односторонние «интерфейсы»: управление от внешнего напряжения 1–10 В, управление изменением подключаемого к ЭПРА резистора (потен-

циометра) и управление внешним сигналом ШИМ.

Одной из принципиальных модернизаций ламп высокого давления было создание т.н. двухгорелочных ламп (twin arc lamps). За счет того, что при параллельном включении горелок загорается всегда только одна из них, срок службы увеличивается в два раза. Кроме того, устраняется еще один недостаток ламп высокого давления, связанный с необходимостью большой паузы (в несколько минут) для повторного запуска после внезапного (даже кратковременного) выключения напряжения, поскольку нагретая при работе лампа требует увеличенного напряжения для пробоя. В двукратном девайсе в этом случае происходит зажигание той горелки, которая была до этого в нерабочем состоянии. Для «одногогорелочных» ламп в аналогичных случаях приходится использовать ИЗУ с повышенным напряжением и специальные конструкции ламп, цоколи которых выдерживают увеличенные импульсные напряжения. В современных энергосистемах кратковременные «провалы» напряжения характерны при переключениях на резервное электроснабжение. Это может приводить к достаточно длительным «погашениям» сети освещения при применении «одногогорелочных» ламп с обычными ИЗУ. Известны, например, несколько инцидентов, связанных с отключением света на футбольных стадионах во время ответственных матчей, ущерб от которых оценивают до нескольких сотен тысяч €.

БЕСКОНТАКТНЫЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ И ИХ УПРАВЛЕНИЕ

В последние годы появился целый ряд бесконтактных газоразрядных ламп, в которых возбуждение разряда осуществляется внешним электромагнитным полем.

Первой модификацией стала лампа низкого давления, т.н. «индукционная», представляющая собой свернутую в кольцо люминесцентную лампу с одной (рис. 10) или двумя обмотками возбуждения (рис. 11). Последние из них смогли найти применение и в ряде проектов НО, при этом для обеспечения уверенного зажигания и работы при понижен-

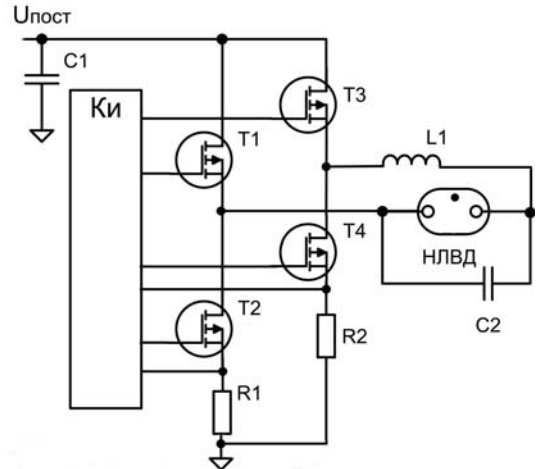


РИС. 9. ▲
Инвертор для НЛВД



РИС. 10. ◀
Малогабаритная индукционная ЛЛ с одной обмоткой возбуждения

РИС. 11. ▼
Индукционная ЛЛ с двумя обмотками возбуждения



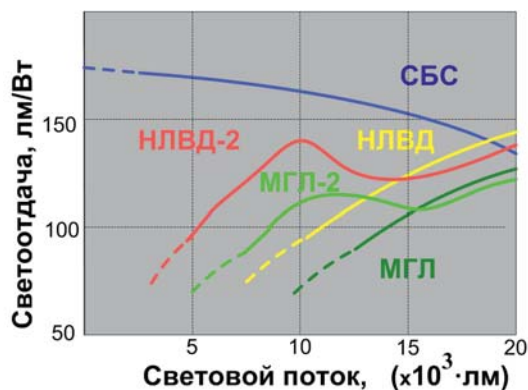


РИС. 12. ►
Эффективность при
диммировании
источников НО

ных температурах в светильниках с такими ЛЛ приходится вводить специальный подогрев колбы.

В дальнейшем появились и бесконтактные лампы высокого давления: серные и металлогалогенные с электромагнитным возбуждением, создаваемым соответственно магнетроном и диэлектрическим резонатором [7]. Эти лампы, ввиду их высокой стоимости, нашли лишь ограниченное применение в специфических проектах.

СВЕТОДИОДНЫЕ ЛАМПЫ И ИХ УПРАВЛЕНИЕ

Несмотря на то, что светодиоды стремительно ворвались не только во внутреннее освещение зданий, но и в НО, в сфере их управления не появилось ничего кардинально нового. Действительно, структурные схемы драйверов светодиодных све-

тильников практически не отличаются от структурных схем ЭПРА газоразрядных ламп. Важным отличием является только необходимость питания светодиодов от драйверов стабилизированным постоянным током, что накладывает соответствующие требования на их выходные каскады. В целом незамеченным осталось то, что светодиоды оказались первыми источниками света, с которыми простейшие схемы подключения к сети переменного напряжения оказались неконкурентоспособны. В то же время дополнительное подкрепление получили соображения о нецелесообразности дальнейшего использования трехфазных сетей НО.

ОБ УПРАВЛЕНИИ СВЕТИЛЬНИКАМИ НО

Необходимость управления яркостью современных светильников НО, совершенно очевидная из общих соображений энергосбережения, оказывается не такой уж полезной для городских энергосистем в целом. Дело в том, что современные тепловые и атомные электростанции обеспечивают высокую эффективность работы только при постоянной нагрузке. В случае ее изменения приходится оперативно подключать и отключать дополнительные энергоагрегаты, что довольно затратно. Допускаемое нормативными документами уменьшение яркости светильников НО до 50% в ночном режиме дополнительно усугубляет провал в энергопотреблении города в целом. Выход из этой ситуации хорошо известен и становится все более востребован, особенно при широком использовании альтернативной (солнечной и ветровой) энергетики, которая, в отличие от традиционной энергетики, не в состоянии генерировать энергию постоянно и требует применения больших аккумулирующих мощностей. В современных условиях решение проблемы непостоянства генерирования и потребления электроэнергии достигается за счет применения гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). Проект такой ГАЭС запланировано реализовать в Ленинградской области на реке Шапша практически вслед за завершением строительства второй очереди Ленинградской атомной электростанции (ЛАЭС-2). Очевидно, что в такой энергосистеме вопро-

сы эффективного энергопотребления в НО станут уже по-настоящему актуальными.

Что касается рассматриваемого нами конкретного вопроса эффективности диммирования, то неоспоримое преимущество в этой характеристике принадлежит белым светодиодам большой яркости (СБС), поскольку при уменьшении подводимой мощности их эффективность растет, в отличие от всех других источников света (рис. 12). В тоже время нельзя не отметить, что при исполнении двухгорелочных ламп с отдельным управлением каждой горелки (рис. 13) возможно не только повышение эффективности диммирования натриевых (НЛВД-2) и металлогалогенных (МГЛ-2) ламп, но и расширение вдвое диапазона их регулирования за счет чередования их одиночного и совместного включения. Как показано в [7], такое энергосберегающее управление в НО весьма актуально.

Возможный вариант схемы инвертора, реализующего управление двухгорелочной лампой, представлен на рис. 14. Низкочастотная коммутация питающего напряжения обеих горелок Г1 и Г2 в этой схеме производится полумостом на транзисторах Т3 и Т4, а полумосты Т1, Т2 и Т5, Т6 обеспечивают широтно-импульсное трехуровневое регулирование величин токов каждой горелки. Сглаживание пульсаций токов горелок дросселями L1 и L2 до уровня 3–5% от максимального значения тока устраняет вероятность возникновения акустического резонанса. Зажигание же каждой горелки происходит так же, как в схеме рис. 9, за счет последовательного резонанса напряжений в цепях L1–C1 и L2–C2. Такой вариант ЭПРА обеспечивает, наряду с увеличенным сроком службы лампы, также и повышенную живучесть светильника, а при наличии дистанционной диагностики позволяет обеспечить планирование своевременной замены ламп. Поскольку отказ одной горелки можно считать лишь частичным отказом лампы, то такой подход создает благоприятнейшие предпосылки для создания системы городского освещения с процентом горения светильников, максимально приближенным к 100%. Совместно с использованием ночного диммирования светильников, это повышает качество освещения дорог и улучша-



РИС. 13. ►
Двухгорелочные
трехэлектродные лампы:
а) НЛВД-2; б) МГЛ-2

ет комфортность работы водителей автотранспорта, что позволит увеличить безопасность дорожного движения в темное время суток. Отметим, что в настоящее время в российских системах городского освещения приемлемым считается процент горения на уровне 95%, т. е. считается допустимым отказ пяти светильников из 100!

Многие современные лампы высокого давления для гарантирования максимального срока службы рекомендуется держать во включенном состоянии не более нескольких десятков часов. В системах освещения северных городов, где полярная ночь длится полгода, для этого можно было бы применить двоянные светильники с поочередным включением ламп. Однако, поскольку для разогрева лампы требуется несколько минут, то на время переключения сеть должна выдерживать двойную нагрузку. Очевидно, что такое решение излишне затратно. При использовании двухгорелочных трехэлектродных ламп легко реализуется алгоритм совместной работы горелок в вечернем режиме с поочередным их отключением в ночном режиме, что снижает нагрузку сети и позволяет иметь непрерывное включение каждой горелки, не превышающее двух суток.

Очевидно, что системы НО с двухгорелочными управляемыми лампами имеют неплохой потенциал в конкурентной борьбе со светодиодными системами НО.

Поскольку надежность современных управляемых светодиодных светильников находится примерно на уровне самых совершенных светильников с двухгорелочными лампами, то целесообразно и их схемы выполнять по двухканальному принципу для повышения живучести светодиодного городского освещения в целом.

О ЗАПРЕТАХ И ИННОВАЦИЯХ

Отсутствие в настоящее время проработанной стратегии дальнейшего развития НО в Российской Федерации частично замещается запретительными мерами, например ограничением в применении устаревших вариантов ламп. Так, последней из них стало постановление Правительства Российской Федерации от 28 августа 2015 г. № 898, выпущен-

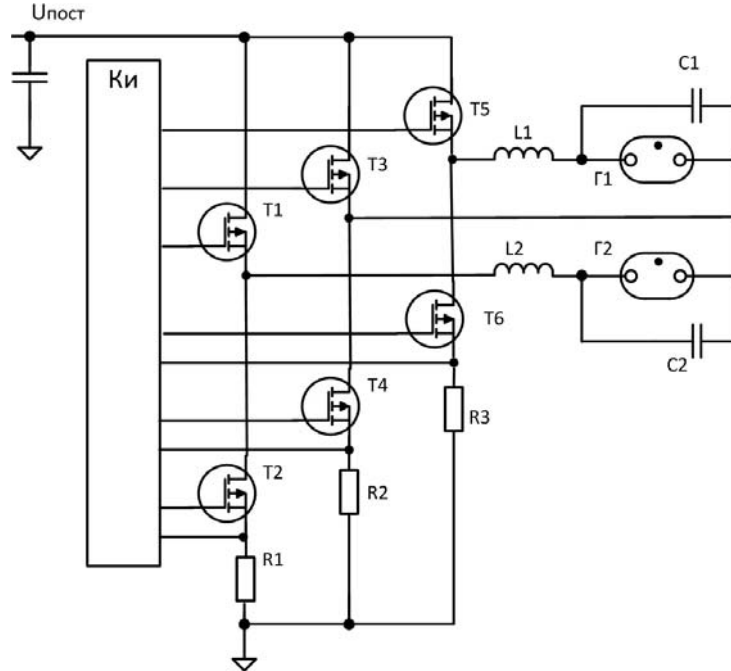


РИС. 14. ►
Схема инвертора для двухгорелочной трехэлектродной лампы высокого давления

ное в дополнение к постановлению № 1221 от 31.12.2009 г. В результате в настоящее время под запрет попадают муниципальные и госзакупки не только ламп накаливания мощностью выше 100 Вт, ламп ЛЛ типоразмеров Т8 и Т12, но и ламп КЛЛ и ДРЛ. В действительности такие меры служат для отсечки совсем уж некомпетентных решений, а также для поощрения производства отдельных типов энергосберегающих ламп.

Если же подойти с системных позиций, то становится очевидным, что в НО в настоящее время происходит изучение ряда различных пилотных проектов освещения и постепенно появляется понимание разворота вектора дальнейшего развития в сторону энергоресурсосберегающего управляемого освещения. В результате создается революционная ситуация с неизбежным возникновением соблазна создания такой прорывной инновационной технологии. Уже наблюдается целый ряд подобных отдельных попыток, совершенных в последние годы в городах евразийского, австралийского и американских континентов. Наиболее слабым местом всех этих попыток остается недостаточно продуманный подход к НО, как к системе, которая требует полного экономического анализа с всесторонним учетом затрат, углубленного системного анализа с уче-

том технических и эксплуатационных особенностей НО, а также выработки «долгоиграющей» концепции, которая позволила бы не только получить долговременный экономический эффект, но и минимизировать затраты последующих модернизаций НО. Немаловажным следует признать и необходимость выработки стандартизованных решений, которые могли быть распространены на большое число проектов.

О НО НА СЕТЯХ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Рассматривая схемы управления современными лампами, легко прийти к убеждению, что в этой сфере накоплена достаточная критическая масса, которая способна совершить переворот в представлении о построении современной системы НО, в чем-то подобный революционному скачку последних лет в развитии современных гаджетов и девайсов на потребу просвещенного человечества.

Так, если внимательно изучить структуры сетей электроснабжения, в которых практически каждый (!) потребитель обеспечивает для себя выпрямление переменного напряжения с получением высокого коэффициента мощности и минимизации гармоник, то возникает

законный вопрос об эффективности и рациональности использования таких сетей. Ряд современных примеров реализации сетей постоянного напряжения [2] показывает, что проекты таких автономных систем энергоснабжения уже стали экономически оправданными. Системы НО, обладая всеми свойствами автономности, являются, очевидно, прямыми следующими кандидатами для дальнейшего продвижения этой концепции. Как показано в [7], при создании новых или реконструкции старых систем НО такой вариант является и наиболее приемлемым по экономическим показателям.

* * *

*Существует достаточно света
для тех, кто хочет видеть,
и достаточно мрака для тех,
кто не хочет.
Блез Паскаль*

Современные светильники НО потенциально могут осуществлять энергоэффективное управление

с обеспечением улучшения надежности и живучести систем освещения и повышения их эксплуатационных характеристик. Тем не менее, существуют только одиночные пилотные проекты по реализации такого энергоэффективного управления, которое можно было бы назвать интеллектуальным наружным освещением (ИНО). Для дальнейшего продвижения концепции ИНО потребуется как разработка собственно высоконадежных управляемых светильников, так и отработка системных вопросов их электропитания, управления и вопросов эксплуатации, чему и будет посвящена третья часть настоящей статьи. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Маклюэн Г. М. Понимание Медиа: Внешние расширения человека. М.: Жуковский: «КАНОН-пресс-Ц», «Кучково поле». 2003.
2. Зотин О. В преддверии возрождения постоянного тока // Силовая электроника. 2013. № 4–6.
3. Donald G. Fink and H. Wayne Beaty, Standard Handbook for Electrical Engineers, Eleventh Edition, McGraw-Hill, New York, 1978, ISBN 0-07-020974-X, pg 22–8.
4. А.с. 238017 (СССР). Симметричный тиристор / А. Н. Думаневич, Ю. А. Евсеев // Заявл. 24.12.1963. Бюлл. № 9. 1969.
5. T. Ribarich, E. Thompson. Application Note AN-1020. T5 Lamp Ballast. Using Voltage-Mode Filament Heating. International Rectifier, 2000.
6. Philips Semiconductor: Power Semiconductor Applications — Lighting. www.nxp.com/documents/application_note/APPCHP8.pdf
7. Зотин О. Управление освещением открытых пространств // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 1–4.
8. Зотин О. Управление городским освещением. От ретроспективы к перспективе. Ч. 1 // Control Engineering Россия. 2015. № 4(58).