

Особенности проектирования ЭПРА для ламп высокого давления

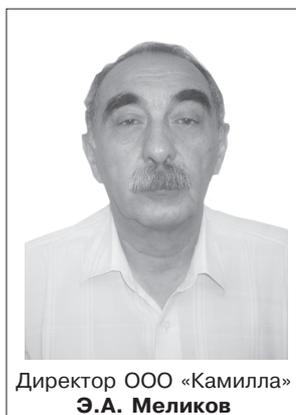
М.М. Бузаров, А.Р. Суменов, Э.А. Меликов



Аспирант СКГМИ(ГТУ)
М.М. Бузаров



Инженер ООО «Камилла»
А.Р. Суменов



Директор ООО «Камилла»
Э.А. Меликов

С развитием прогресса и ростом технологического уровня цивилизации все больше внимания уделяется вопросу энергосбережения. Одним из направлений в нем является снижение потребления электрической энергии на наружное освещение населенных пунктов, автомагистралей, производственных территорий и т.д.. В настоящий момент основными источниками уличного освещения являются газоразрядные лампы высокого давления. Оптимизация управления ими позволяет осуществить значительную экономию электроэнергии, разгрузить существующие кабельные сети, продлить срок эксплуатации ламп. Переход на светодиодные источники света планируется перенести на некоторое время, поскольку в настоящее время они несоизмеримо дороги и отсутствуют в достаточном количестве.

При проведении работ по разработке современных электронных балластов для ламп высокого давления на предприятии ООО «Камилла» г. Владикавказ столкнулись с рядом технических проблем, требующих дополнительных исследований для принятия технически обоснованных решений.

Современная элементная база позволяет проектировать и производить электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА), которые снижают расход электроэнергии, продлевают срок службы лампы, улучшают качество потребляемой

электроэнергии (коэффициент мощности практически равен единице). Кроме того, от ЭПРА требуется соответствие по электромагнитной совместимости и уровню радиопомех [1] и высокая надежность, продлевающая его эксплуатационный период.

Устройство, реализующее необходимые функции, классически представляется в виде следующей структурной схемы, представленной на рис. 1. Это типовая структурная схема ЭПРА, содержащая узел защиты, сетевой фильтр, выпрямитель, корректор коэффициента мощности, инвертор, преобразователь сигнала по сети, схему управления.

Чаще всего инвертор выполняется в виде полумостового, либо, при больших мощностях, мостового инвертора напряжения, выполненного на полевых транзисторах с последовательно включенными индуктивностью и газоразрядной лампой. Кроме того, он может содержать импульсное зажигающее устройство (ИЗУ), выполняющее «поджиг» лампы высоким напряжением. Эта схема при малой стоимости и простоте имеет высокий КПД. Однако при холостом ходе транзисторы начинают работать в режиме жесткого переключения [2], т.е. через транзисторы протекает ток, примерно равный отношению напряжения на конденсаторе к сопротивлению канала открытого транзистора, и, как следствие, увеличивается рассеиваемая мощность на транзисторах до тех пор, пока они не выйдут из строя. Для исключения этого явления была разработана схема защиты от жесткого переключения, запирающая транзисторы и выключающая таким образом инвертор, после чего должна быть выдержана пауза и затем попытка повторного запуска. Как правило, явление жесткого переключе-

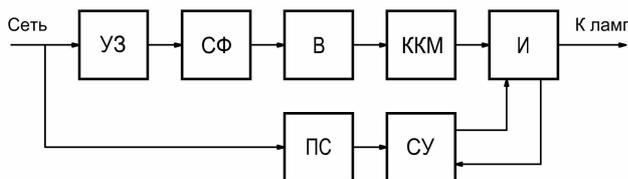


Рис. 1. Типовая структурная схема ЭПРА

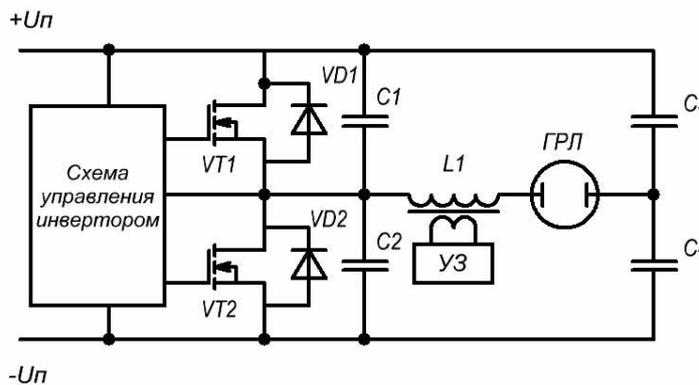


Рис. 2. Типовая схема полумостового инвертора для питания газоразрядной лампы

ния возникает, когда заканчивается срок службы лампы, либо при её отсутствии. Отсюда видна целесообразность ограничения числа попыток запуска лампы. Это особенно актуально при окончании ее срока службы: лампа запускается, разгорается и по истечении некоторого времени гаснет, затем снова запускается и т.д.

Основное назначение корректора коэффициента мощности (ККМ) – улучшение качества потребляемой электроэнергии. Необходимость в этом возникает, поскольку импеданс лампы с включенным последовательно с ней дросселем имеет индуктивный характер. При этом возникает отставание тока от напряжения по фазе. Кроме того, поскольку инвертор питает лампу прямоугольным напряжением, и ток лампы имеет несинусоидальную форму, возникает широкий спектр гармоник, которые могут попадать в сеть. Особо пагубно влияние гармоник, кратных третьей, поскольку их рост нагружает нулевой провод в трехфазной сети. Параметром, наглядно характеризующим коэффициент мощности, является $\cos \phi$, где ϕ – угол сдвига между напряжением и током. Низкий $\cos \phi$ говорит о высоком значении реактивной составляющей тока, что ведет к потерям на проводах, соединяющих потребитель с источником питания. Типичным значением $\cos \phi$ для ламп типа ДНаТ без коррекции коэффициента мощности является 0,5–0,6. Т.е. около половины тока, двигающегося по проводам, совершает полезную работу, остальная часть разогревает провода, вследствие чего приходится увеличивать их сечение.

Применение ККМ не исключает надобности в фильтрации помех, но исключает фазовый сдвиг между током и напряжением, что позволяет использовать подводящие провода меньшего сечения. Дополнительным достоинством ККМ является стабилизация выходного напряжения в рабочем диапазоне входного напряжения и соответственно исключение зависимости мощности лампы от напряжения сети.

В настоящее время чаще всего используется два способа активной коррекции коэффициента

мощности – режим прерывистого тока и режим непрерывного тока индуктивности. Для реализации каждого из них производятся соответствующие микросхемы, например [3; 4; 5]. Каждый из режимов имеет свои достоинства и недостатки. В случае с ККМ прерывистого тока пульсации тока существенно влияют на уровень генерируемых в сеть помех. Достоинствами этой схемы являются мягкий режим работы транзистора и невысокие требования к диоду. Для ККМ с непрерывным током индуктивности требуется диод с высоким быстродействием. Кроме того, открывание транзистора происходит при ненулевом напряжении на нем, что приводит к значительным потерям. Достоинством схемы является низкий уровень генерируемых помех. Как правило, при малых мощностях и низкой стоимости изделия применяют ККМ прерывистого тока, при больших мощностях – ККМ непрерывного тока. Использование режима непрерывного тока подразумевает переключение транзистора при наличии на нем напряжения, т.е. в режиме жесткого переключения. С другой стороны, поскольку ток на индуктивности меняется медленно, возможно использование более грубого литцендрата, в то время как в режиме прерывистого тока во избежание увеличения потерь необходимо использовать литцендрат высокого качества. Типовая схема ККМ на основе повышающего стабилизатора напряжения представлена на рис. 3.

Для удовлетворения требований электромагнитной совместимости, предъявляющей жесткие требования к уровню радиопомех, и помех, вносимых устройством в сеть, предназначен сетевой фильтр. Не последнюю роль в выполнении данной задачи играет качественное заземление. Чаще всего фильтр реализуется по следующей схеме, представленной на рис. 4.

Фильтр эффективно поглощает высокочастотные помехи, однако на низкочастотные он влияет мало, так как величина индуктивности и емкости для поглощения низких частот должны быть значительно выше. Поскольку непосредственным потребителем электроэнергии из сети в ЭПРА является ККМ, был поставлен эксперимент, в ходе

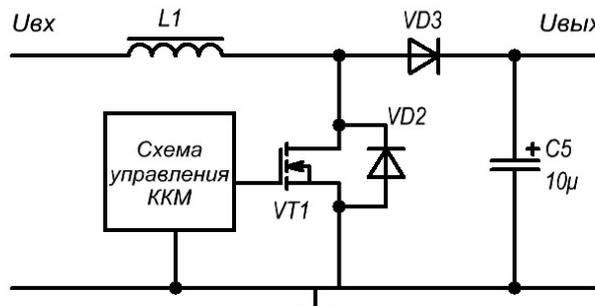


Рис. 3. Схема ККМ на основе импульсного повышающего стабилизатора напряжения

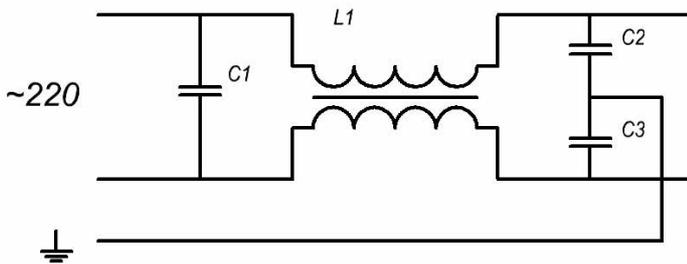


Рис. 4. Типовая схема сетевого фильтра

которого было установлено, что уровень низкочастотных помех и уровень генерируемых гармоник зависят от входного и выходного напряжений корректора. Причем чем меньше разница между этими двумя значениями, тем выше амплитуда генерируемых в электрическую сеть гармоник. На рис. 5, 6 и 7 представлены графики уровней третьей гармоники от величины входного напряжения для различных вариантов фильтров и выходных напряжений ККМ.

Как видно из графиков, уровень третьей гармоники зависит не столько от элементов, входящих в схему фильтра, сколько от разности выходного и входного напряжений ККМ. Кроме влияния на уровень помех, величина выходного напряжения ККМ определяет верхний предел диапазона входных напряжений. Однако слишком большое значение этой величины увеличивает потери на транзисторах и на индуктивности инвертора, требует использования высоковольтных элементов. Таким образом, можно сделать вывод, что выходное напряжение ККМ должно быть некоторым оптимальным значением, при котором ЭПРА соответствует требованиям электромагнитной совместимости и имеет высокий КПД, что было учтено и реализовано при разработках.

Узел защиты чаще всего представляет из себя предохранители, включенные последовательно со схемой, варистор, соединяющий предохранители со стороны схемы, и термистор, ограничивающий импульс тока заряда конденсатора ККМ при включении (рис. 8).

Относительно недавно вместо варисторов стали применяться супрессоры – высоковольтные одно- и двунаправленные стабилитроны, способные кратковременно рассеивать большие мощности, возникающие при высоковольтных импульсах, и имеющие значительно большее быстродействие по сравнению с варисторами. Принципиальное различие между ними заключается в том, что варистор при сгорании образует разрыв, и если электрический импульс имеет достаточно большую энергию, то он попадает на всю схему, следующую после узла защиты. Супрессор при сгорании образует короткое замыкание, в результате которого сгорают только достаточно деше-

вые плавкие предохранители, тем самым отключая схему от сети, что позволяет значительно снизить вероятность выхода из строя ККМ и инвертора.

Существенным фактором выбора оптимальной частоты работы инвертора является проявление акустического резонанса при работе ламп высокого давления на высоких частотах, что обусловлено особенностью конструкций горелок различных типов ламп. Анализ литературных источников, данных разработчи-

ков ламп высокого давления и проведенные исследования на предприятии ООО «Камилла» позволили произвести выбор оптимальных частотных диапазонов работы инверторов с учетом минимальной вероятности возникновения акустического резонанса и минимальных потерь в индуктивном дросселе электронного балласта, что позволило значительно повысить КПД изделия, доведя его уровень до 0,93.

Проведенный на предприятии ООО «Камилла» комплекс исследовательских работ позволил произвести разработку и осуществить постановку на серийное производство пускорегулирующего аппарата «ЭПРАВД», предназначенного для зажигания и обеспечения оптимального рабочего режима натриевых и металлогалогеновых ламп высокого давления типа ДРИ, ДНаТ, ДНаЗ в светильниках уличного, объектового наружного и тепличного освещения.

Использование ЭПРА обеспечивает:

- Повышение срока службы лампы за счет стабилизации мощности в широком диапазоне изменения питающего напряжения и оптимизации режима розжига;
- Уменьшение эксплуатационных расходов на смену ламп за счет повышения их срока службы, а также отсутствие необходимости в замене импульсных зажигающих устройств;
- Прямую экономию электроэнергии по сравнению с электромагнитными аппаратами 5–7 % за счет высокого КПД (> 0,93);
- Высокий коэффициент мощности (> 0,98);
- Бесшумную работу светильника и отсутствие мерцания света за счет питания ламп током высокой частоты;
- Малые массу и габариты, благодаря работе на повышенной частоте с высоким КПД, нали-

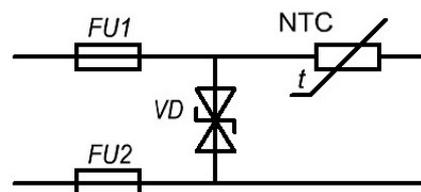


Рис. 8. Схема узла защиты

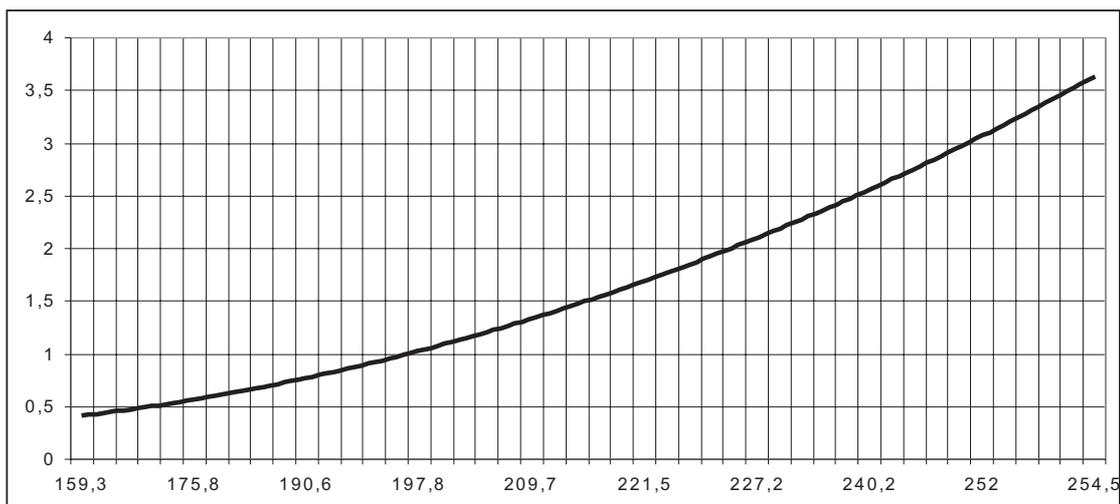


Рис. 5. Уровень третьей гармоники для ЭПРА с индуктивностью и конденсаторами С2 и С3 и выходным напряжением ККМ – 385 В

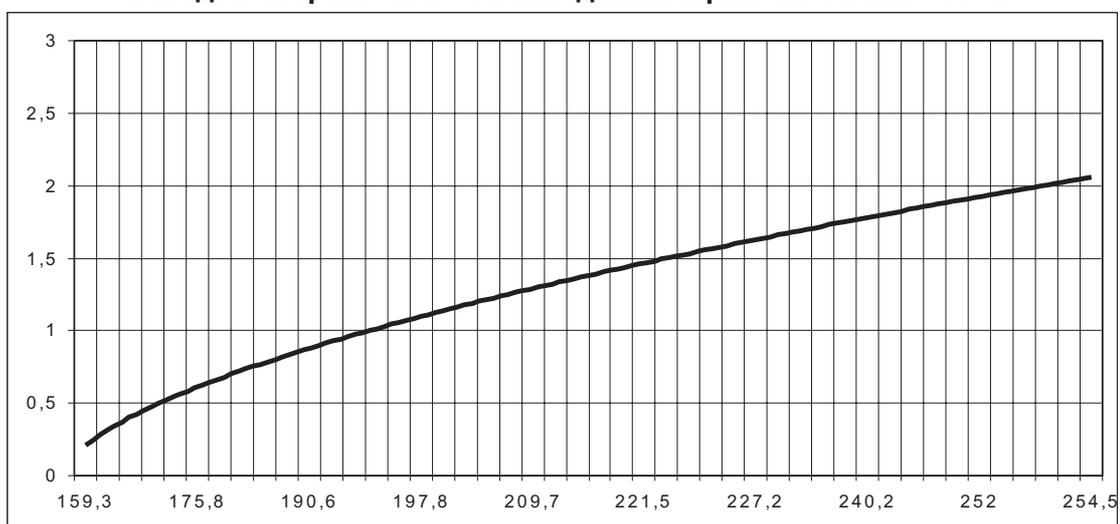


Рис. 6. Уровень третьей гармоники для ЭПРА с индуктивностью и конденсаторами С2 и С3 и выходным напряжением ККМ - 405 В

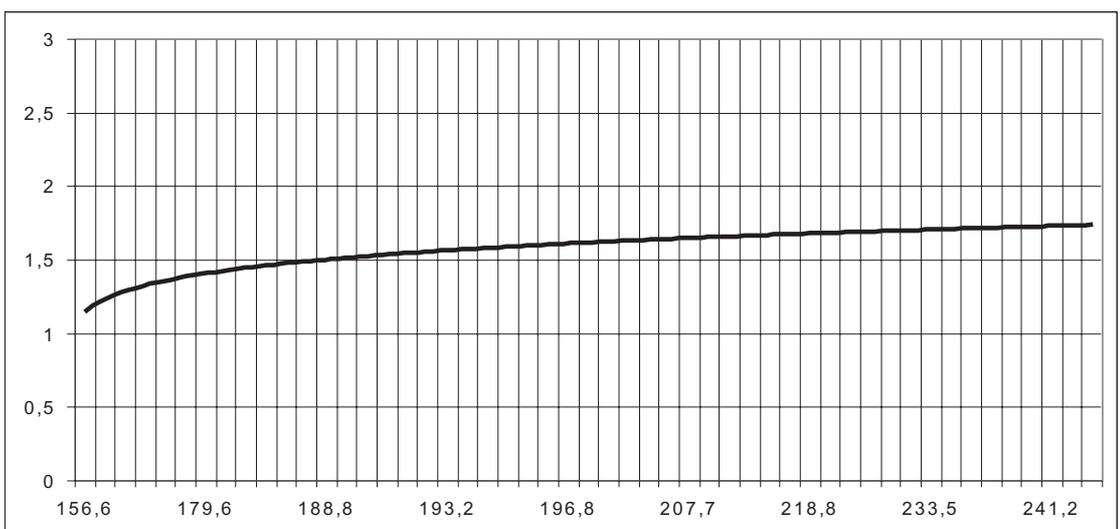


Рис. 7. Уровень третьей гармоники для ЭПРА с индуктивностью и конденсаторами С1, С2, С3 и выходным напряжением ККМ – 405 В

чию встроенного устройства зажигания и отсутствию необходимости в дополнительном оборудовании для компенсации реактивной мощности.

- Отсутствие бросков коммутационных токов в силовой питающей цепи при включении аппаратов;
- Отсутствие необходимости в обслуживании аппаратов;
- Возможность подключения к линии большего числа светильников при полном отсутствии фактора разности уровня освещенности в начале и в конце линии.

Дальнейшим этапом проведенных исследований на предприятии ООО «Камилла» стали исследования возможности и целесообразности использования перспективных натриевых ламп высокого давления типа ДНаЗ. Проведенные исследования показали, что при переходе на светильники с зеркальной лампой рекомендуется использовать мощность на одну ступень ниже, чем для ламп ДНаТ, и на две ступени ниже, чем для ламп ДРЛ.

- ДРЛ 400 ДНаТ 250 ДНаЗ/ 150
- ДРЛ 250 ДНаТ 150 ДНаЗ/ 100
- ДРЛ 125 ДНаТ 100 ДНаЗ/ 70

Проведенный комплекс исследований позволил разработать и поставить на серийное производство светильники нового поколения консольного типа ЖКУ01, ЖКУ02 мощностью 70, 100, 150, 250 Вт – это сочетание преимуществ электронного пускорегулирующего аппарата (ЭПРА), энергосберегающих натриевых зеркальных ламп высокого давления ДНаЗ, которые являются уникальной разработкой российской фирмы «Реф-лакс», не имеющей конструктивных аналогов на мировом светотехническом рынке, и литого пластикового корпуса.

Светильники выгодно отличаются от других тем, что за счет использования компактного эффективного зеркального отражателя лампы обеспечивают КПД оптической системы не менее 95%, имеют высокую степень защиты оптической системы IP 67 и создают оптимизированное продольное перераспределение светового потока (для сравнения КПД светильника ЖКУ 21 составляет 75–77 %). КПД оптической системы лампы практически не меняется в те-

чение всего срока службы лампы за счет того, что зеркальное покрытие герметично изолировано от окружающей среды (находится в вакууме), а следовательно, не требует дополнительного обслуживания.

Используемый в светильниках полимерный цоколь PGX позволяет строго горизонтально (относительно зеркального купола) сориентировать лампу в светильнике с применением патрона PGX и обеспечить надежный контакт при возможной вибрации. Применение лампы ДНаЗ/Reflux/ЭКОЛЮМ позволяет обойтись без отражателя в корпусе светильника.

Корпуса светильников ЖКУ01, ЖКУ02 имеют современный дизайн, выполнены из высокопрочного полимерного материала. Они отличаются от аналогов простотой конструкции, сборки, монтажа и обслуживания, обеспечивают безотказную работу в широком диапазоне напряжения питания. Срок службы ламп ДНаЗ в 2,5 раза больше аналогов, при использовании ЭПРА.

Применение указанных светильников позволяет снизить потребление электроэнергии до 1,5 раз лучше аналогов, выпускаемых другими предприятиями Российской Федерации, обеспечить стабильность светотехнических параметров и их соответствие европейским стандартам.

Технические параметры ЭПРА

Параметр	Тип ЭПРА	
	ЭПРАВД 150	ЭПРАВД 250
Мощность, потребляемая лампой (Вт)	150	250
Напряжение сети, В	165-275	
Частота переменного тока, Гц	47-63	
Ток потребления, не более, А	0.93	1.56
Коэффициент мощности во всем диапазоне питающего напряжения (не менее)	0.98	
Содержание 3-й гармоники (не более)	2.5%	
Рабочая частота тока лампы	63 – 70 КГц	
Амплитуда импульса зажигания	3.5 – 4.0 кВ	
Защита от короткого замыкания нагрузки («КЗ»).	Есть	
Стабилизация мощности лампы	Есть	
Защита от отсутствия лампы	Есть	
Максимально допустимая температура корпуса (tc)	70° С	
Рабочий диапазон температуры окружающей среды (ta)	от –40° С до + 45° С	
Класс защиты	1	
Степень защиты	IP 52	
Климатическое исполнение	УХЛ2	
Масса, кг.	0.8	0.9

Литература

1. **ГОСТ 13109-97** «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

2. **Патанов Д.** Общие проблемы снижения коммутационных потерь в инверторах напряжения // *Схемотехника*, 2001, №7. С. 17–19.

3. **IR1150Su PFC** One cycle control PFC IC / Data Sheet No. PD60230 revAa, 6/13/2005, International Rectifier.

4. **ICE1PCS01, ICE1PCS01G** Standalone Power Factor Correction (PFC) Controller in Continuous Conduction Mode (CCM) / Preliminary Datasheet, Version 1.1, 28 May 2003, Infineon technologies.

5. **MC34262, MC33262** Power Factor Controllers / Publication Order Number: MC34262/D / November, 2005. Rev. 9, ON Semiconductor.