

УДК 621.311

О.Ю. Егорова, Ю.Н. Кушнарёва

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

АНАЛИЗ РАБОТЫ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП С ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИМИ АППАРАТАМИ РАЗНЫХ ТИПОВ

В статье оценена работа газоразрядных ламп с пускорегулирующими аппаратами разных типов; рассмотрена работа компактных люминесцентных ламп с электронными пускорегулирующими аппаратами; проанализированы преимущества электронных пускорегулирующих аппаратов по сравнению с электромагнитными; проанализированы особенности работы газоразрядных ламп высокого и низкого давлений в цепи переменного тока; рассмотрены элементы схем включения газоразрядных ламп в цепи переменного тока.

Ключевые слова: разряд, газоразрядная лампа, балластные сопротивления, компактная люминесцентная лампа, пускорегулирующий аппарат.

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы.

Можно с уверенностью говорить, что технический уровень практически любой отрасли промышленности в наше время определяется степенью ее электризации. Широкое распространение в народном хозяйстве получают различные приборы, основанные на явлении электрического разряда. К ним относятся и газоразрядные лампы, обладающие высокой экономичностью. Одной из особенностей газоразрядных источников света является падающая вольтамперная характеристика разряда, что существенным образом влияет на разработку их схем включения и установления необходимого режима цепи в период пуска и в рабочем режиме. Как правило, для включения газоразрядной лампы в сеть требуется последовательное включение с ней балластного сопротивления, которое для схем постоянного тока представляет собой резистор, а в цепях переменного тока имеет реактивный или смешанный характер. Газоразрядная лампа, являясь по своей физической природе активной нагрузкой, в то же время не может быть заменена эквивалентным активным сопротивлением в силу нелинейности ее вольтамперной характеристики. Введение в электрический контур, состоящий из активных и реактивных сопротивлений, элемента с газовым разрядом приводит к сильному искажению форм кривых токов и напряжений.

В условиях массового применения газоразрядных ламп необходимо обеспечить не только их производство, но и создавать условия для надежной и эффективной эксплуатации ламп. Выполнение этих требований в значительной мере зависит от параметров пускорегулирующей аппаратуры (ПРА), применяемой для зажигания газоразрядных ламп и стабилизации их рабочего режима. От правильного выбора выходных параметров аппарата, а также согласования их с характеристиками газоразрядных

ламп в конкретных условиях эксплуатации зависят надежность и экономичность осветительной установки [1].

В настоящее время свыше 10% вырабатываемой в стране электрической энергии расходуется на цели освещения. Более 70% генерируемого светового потока создается экономичными разрядными источниками света, прежде установок существенно зависят от параметров пускорегулирующих аппаратов, без которых не могут работать практически все разрядные лампы. Разрядный источник света и ПРА образуют единый комплект, элементы которого находятся в неразрывной взаимосвязи. Так, от параметров ПРА зависят световая отдача комплекта лампа – ПРА, срок службы лампы, габаритные размеры и стоимость светильника, затраты на осветительную установку и т.д.

Традиционные массовые электромагнитные ПРА рассеивают в виде тепла до 25% электрической энергии, потребляемой лампой. Ежегодно на производство ПРА расходуются дефицитная электротехническая сталь и обмоточный провод. В течение ряда лет проводились систематические исследования электромагнитных ПРА, направленные на снижение расхода электротехнических материалов и потерь. Разработка и внедрение новых серий в 11 – 12-й пятилетках позволили существенно повысить технико-экономические параметры ПРА массовых типов. Удельная материалоемкость наиболее массовых ПРА соответствует лучшим мировым аналогам. При традиционно используемых соотношениях электрических параметров разрядных источников света и питающей сети параметры электромагнитных ПРА близки к предельно возможным. Однако массовый выпуск электромагнитных ПРА диктует экономическую целесообразность проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по поиску новых схемных решений ПРА и по дальнейшему совершенствованию комплекта лампа – электромагнитный ПРА. Это необходимо, поскольку

ку даже незначительное улучшение параметров обеспечивает при массовом производстве большой экономический эффект [2].

Наряду с совершенствованием электромагнитных ПРА большое внимание уделялось проблеме создания полупроводниковых ПРА, обеспечивающих высокий КПД (85% и выше), существенное снижение расхода электротехнической стали и обмоточного провода, повышение световой отдачи ламп, снижение акустического шума и т. д. Разработка новых типов электромагнитных и полупроводниковых ПРА с улучшенными параметрами для широкой номенклатуры разрядных ламп осуществляется на основе методов расчета, учитывающих специфику работы разрядных ламп, светильников, облучателей и установок [4].

В настоящее время силовая электроника, базируется на монокристаллических полупроводниковых приборах с большой нагрузочной способностью и широкими функциональными возможностями, вместе с микроэлектроникой позволяет создавать электронные ПРА, полностью удовлетворяющие современным требованиям, предъявляемым к ним ламповой нагрузкой и потребителями [3].

Изложение основного материала

При питании газоразрядных ламп переменным током, как правило, применяется реактивный балласт. Активный балласт по экономическим соображениям и с позиции уменьшения пульсации светового потока, создаваемого лампой, применяется редко. При включении лампы с активным балластом форма тока лампы близка к форме напряжения источника питания, к синусоидальной. Ток в лампе возникает через промежуток времени φ_n . Угол, определяющий задержку начала прохождения тока через лампу i_n по отношению к напряжению сети u_c , называется начальной паузой тока лампы или паузой тока при включении. Аналогично угол φ_k , определяющий прекращение тока через лампу раньше, чем напряжение сети снизится до нуля, называется конечной паузой тока лампы. Таким образом, при работе газоразрядной лампы на переменном токе с активным балластом в каждый полупериод питающего напряжения по лампе не протекает ток в течение времени $\varphi_n + \varphi_k = \Delta$; (1) угол Δ в этом случае называется паузой тока лампы. Нетрудно видеть, что наличие пауз в токе лампы нежелательно по ряду причин. Во время паузы ток через лампу не проходит, следовательно, лампа не излучает света, т. е. не выполняет свою основную функцию; для получения в этом случае требуемой мощности необходимо увеличивать ток через лампу. Это вызывает увеличение амплитудного значения тока лампы и приводит к снижению срока службы электродов. Появление пауз в токе и световом потоке лампы

вызывает увеличение пульсации светового потока, что отрицательно сказывается в осветительных установках на зрительной работоспособности органов и приводит к возможности возникновения стробоскопического эффекта. Кроме того, наличие пауз в токе лампы отрицательно влияет на режимы перезажигания и зажигания лампы. Газоразрядные лампы в нерабочем состоянии являются, хорошими диэлектриками. Процесс зажигания разряда состоит в создании в межэлектродном промежутке лампы свободных заряженных частиц (электронов и ионов), способных вызвать ионизацию нейтральных молекул и атомов газа и других веществ, наполняющих лампы. Минимальное напряжение, которое необходимо приложить к лампе для создания указанного состояния, называется напряжением зажигания.

Наибольшее распространение в цепях переменного тока нашел индуктивный балласт – дроссель. Дроссель в общем случае представляет собой обмотку, намотанную на сердечник из ферромагнитного материала – листовой электротехнической стали. Ток, протекающий через лампу, включенную в сеть переменного тока последовательно с дросселем, отстает на угол φ от напряжения сети. Угол φ определяется индуктивностью балласта и соотношением между напряжением на лампе и напряжением сети. Несколько уменьшает угол φ наличие активного сопротивления дросселя. Для люминесцентной лампы мощностью 40 Вт при включении с дросселем в сеть напряжением 220 В угол φ равен примерно 60° . Когда ток в лампе равен нулю, мгновенное напряжение сети, приложенное к лампе, равно u_c . Если u_c больше или равно напряжению зажигания u_z , то лампа перезажигается практически без паузы тока (пауза не превышает 5°). Напряжение перезажигания ламп в схемах с дросселем ниже, чем при работе лампы с активным балластом, из-за меньшей деионизации разрядного промежутка. Напряжение перезажигания ламп в схемах с индуктивным балластом существенно ниже, чем напряжение первоначального зажигания, которое для ламп мощностью 40 Вт составляет 200 – 220 В в схемах с предварительным нагревом электродов.

Так как активное сопротивление дросселя с целью максимального снижения активных потерь всегда на порядок меньше индуктивного сопротивления $\omega L_{др.}$, где ω – частота питающей сети, им можно пренебречь и считать, что ток лампы с достаточной точностью определяется выражением:

$$i_n = U_{др.} / \omega L_{др.} \quad (2)$$

Таким образом, применение индуктивного балласта экономически целесообразно, так как позволяет работать в режиме без пауз тока, резко снижает потери мощности, увеличивая тем самым световую отдачу комплекта лампа – балласт.

Индуктивно-емкостные балласты представляют собой последовательно соединенные конденсатор емкостью C_6 и дроссель с индуктивностью $L_{др}$, причем общее сопротивление цепи носит емкостный характер, т.е.

$$1/\omega C_6 > \omega L_{др} \quad (3).$$

Ток лампы в этом случае, если пренебречь активным сопротивлением дросселя и потерями в конденсаторе, определяется выражением

$$i_l = U_6 / (1/\omega C_6 - \omega L_{др}). \quad (4)$$

Ток лампы опережает по фазе напряжение сети. Когда ток снижается до нуля, к лампе приложено напряжение, равное разности напряжения на конденсаторе u_k , и напряжения сети u_c . Если эта разность больше или равна напряжению перезажигания u_3 , то лампа работает в режиме без пауз тока.

Люминесцентная лампа (ЛЛ) является газоразрядным источником света низкого давления. У любой люминесцентной лампы внутри длинной стеклянной трубки находятся электроды, а сама трубка заполнена смесью паров ртути или сплавов ртути с другими металлами (амальгамы) с инертным газом, обычно аргоном. Стенки изнутри покрыты люминофором. Под действием электрического тока ртуть генерирует ультрафиолетовое излучение, которое, попадая на люминофор, заставляет его светиться. Цвет излучаемого лампой света зависит именно от состава люминофора. Со временем, появились люминофоры с высокой светоотдачей, что позволило уменьшить габариты трубки. Уже существуют лампы, в которых ртуть полностью замещена менее вредными веществами.

Не так давно на рынке появились компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), названные маркетологами энергосберегающими. По сути, это – гибриды ламп накаливания и обычных линейных люминесцентных ламп. Они сочетают как высокий КПД последних, так и относительно небольшие габариты. Фактически, КЛЛ – это лампа, состоящая из миниатюрной электронной ПРА (существуют и не интегрированные с ПРА КЛЛ) и небольших размеров трубки, обычно витой или U-образной, состоящей из нескольких колен. Световая отдача с учетом ПРА – 55 – 70 лм/Вт [3].

Большая часть компактных люминесцентных ламп рассчитана на установку в стандартные резьбовые патроны для ламп накаливания (E27) и компактные «миньоны» (E14). Единственное ограничение – габариты. Компактные люминесцентные лампы обычно все-таки немного больше ламп накаливания и могут не поместиться в светильники с маленькими плафонами.

Немаловажно, что ЭПРА в КЛЛ работают на частоте в десятки килогерц, поэтому лампы абсолютно не мерцают, в противовес линейным люминесцентным лампам и КЛЛ с неинтегрированной ПРА в дешевых светильниках с электромагнитными

дросселями (ЭМПРА).

Световая отдача ЛЛ повышается при увеличении размеров (длины) за счет снижения доли анодно-катодных потерь в общем световом потоке. Поэтому рациональнее использовать одну лампу на 36 Вт, чем две по 18 Вт. Срок службы ЛЛ ограничен дезактивацией и распылением (истощением) катодов. Отрицательно сказываются на сроке службы также колебания напряжения питающей сети и частые включения и выключения ламп. При использовании ЭПРА эти факторы сведены к минимуму.

Широкое использование КЛЛ связано с тем, что они имеют ряд значительных преимуществ перед классическими лампами накаливания:

1. Высокая эффективность:

- КПД – 20...25% (у ламп накаливания около 7%);

- светоотдача (т.е. количество излучаемых люменов на единицу потребляемой мощности) 70... 105 лм/Вт (у ламп накаливания 7...12лм/Вт).

2. Длительный срок службы – 15000...20000 ч (у ламп накаливания – 1000 ч и сильно зависит от напряжения питания).

Имеют ЛЛ и некоторые недостатки:

1. Как правило, все разрядные лампы для нормальной работы требуют включения в сеть совместно с балластом. Балласт, он же пускорегулирующий аппарат (ПРА), – электротехническое устройство, обеспечивающее режимы зажигания (но не всегда само зажигание) и нормальной работы ЛЛ.

2. Зависимость устойчивой работы и зажигания лампы от температуры окружающей среды (допустимый диапазон 5...55 °С, оптимальной считается 20 °С). Хотя этот диапазон постоянно расширяется с появлением ламп нового поколения и использованием электронных балластов (ЭПРА).

Все КЛЛ, кроме специальных, рассчитаны только на переменный ток. Диапазон напряжения переменного тока обычно не указывается, но ориентировочно составляет 180 – 250 В, что позволяет нормально использовать лампы при сильно просаженом напряжении.

На данный момент практически все фирмы продолжают выпуск электронных ПРА с «холодным пуском», то есть с включением ЛЛ без предварительного подогрева электродов. Такие аппараты имеют несколько больший КПД и дешевле аппаратов с предварительным подогревом электродов. Но не следует их использовать там, где ЛЛ включаются достаточно часто (более 10 раз в сутки).

Широкому распространению электронных ПРА способствовало появление «тонких» ЛЛ с колбами диаметром 16 мм, которые в принципе не могут работать с ЭМПРА.

Преимущества ЭПРА по сравнению с ЭМПРА:

1) увеличение световойдачи (на 10 – 25%) и срока службы (на 20 – 30%) ламп;

2) снижение в 1,5 – 2 раза потерь мощности в ПРА;

3) практическое отсутствие пульсаций светового потока ЛЛ и акустического шума ПРА;

4) возможность регулирования и стабилизации светового потока. В связи с широким внедрением систем управления освещением это свойство ЭПРА становится сейчас особенно значимым;

5) снижение массы (в несколько раз по сравнению с ЭмПРА) и возможности варьирования геометрии ПРЛ открывают широкие перспективы по оптимизации конструкции светильников и созданию новых ЛЛ со встроенными ПРА (например, КЛЛ со встроенными в адаптер миниатюрными ЭПРА);

6) возможность формирования тока лампы практически любой формы и частоты – от НЧ (десятки и сотни Гц) до ВЧ (десятки и сотни кГц) и СВЧ (десятки МГц) – открывает широкие перспективы по созданию новых ламп. Целый ряд появившихся в последние годы новых ИС уже не могут работать в схемах с ЭмПРА и рассчитаны на работу только с ЭПРА;

7) возможность внедрения люминесцентного освещения в ОУ с питанием от источников постоянного тока (транспортное и аварийное освещение, подсветка жидкокристаллических индикаторов и т.п.).

Главным препятствием на пути полной замены ЭмПРА на ЭПРА пока что является относительно высокая стоимость последних.

Если работа ЛЛ на высокой частоте приводит к устранению практически всех недостатков стандартных стартерно-дрессельных схем включения, то в случае разрядных ламп высокого давления того же не наблюдается. Более того, работа разрядных ламп высокого давления (РЛВД) на высокой частоте часто просто невозможна из-за появления так называемого акустического резонанса. При разработке ЭПРА для РЛВД наибольшие трудности вызывала проблема предотвращения акустического резонанса. В результате исследований остановились на питании низкочастотным током прямоугольной формы.

Главным достоинством ЭПРА для РЛВД можно считать практически полное исключение пульсаций светового потока ламп. Световая отдача увеличивается незначительно, так как доля анодно-

катодных участков в длине разряда высокого давления невелика. Объединение в одном аппарате трех элементов: балласта, зажигающего устройства и компенсирующего конденсатора. Значительно снизилась масса аппаратов; повысилась надежность зажигания.

Выводы

1. На основании проанализированных особенностей работы газоразрядных ламп высокого и низкого давлений в цепи переменного тока можно сказать, что по сравнению с активным балластом применение индуктивного балласта экономически целесообразно, так как позволяет работать в режиме без пауз тока, резко снижает потери мощности, увеличивая тем самым световую отдачу комплекта лампа – балласт.

2. В ходе анализа ЭПРА по сравнению с ЭмПРА, который показал, что преимуществами ЭПРА является повышение световой отдачи; исключение пульсаций светового потока и акустического шума; уменьшение массы.

3. Главными недостатками ЭПРА являются относительно высокая стоимость; вышедший из строя ПРА не подвластен замене.

Список литературы

1. Фугенфиров М.И. Электрические схемы с газоразрядными лампами / М.И. Фугенфиров. – М.: Энергия, 1974. – 368 с.
2. Краснопольский А.Е. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп / А.Е. Краснопольский, В.Б. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
3. Давиденко Ю.Н. Настольная книга домашнего электрика: люминесцентные лампы / Ю.Н. Давиденко. – СПб.: Наука и Техника, 2005. – 224 с.
4. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2000. – 972 с.

Поступила в редколлегию 2.04.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Ф. Артюх, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

АНАЛІЗ РОБОТИ ГАЗОРОЗРЯДНИХ З ПУСКОРЕГУЛЮЮЧИМИ АПАРАТАМИ РІЗНИХ ТИПІВ

О.Ю. Єгорова, Ю.М. Кушнарєва

В статті оцінена робота газорозрядних ламп з пускорегулюючими апаратами різних типів; проаналізовані особливості роботи газорозрядних ламп високого та низького тиску в ланцюгу змінного струму; розглянуті елементи схем включення газорозрядних ламп в ланцюгу змінного струму.

Ключові слова: розряд, газорозрядна лампа, баластний опір, компактна люмінесцентна лампа, пускорегулюючий апарат.

THE ANALYSIS OF JOB OF DISCHARGE LAMPS WITH START-UP ADJUST BY DEVICES OF DIFFERENT TYPES

O.Yu. Egorova, Yu.N. Kushnaryova

The features of job of discharge lamps of high and low pressure in circuits of an alternating current are analysed; the elements of the circuit of inclusion of discharge lamps in a circuit of an alternating current are considered; the applications of discharge lamps with different types start-up adjust of device are appreciated.

Keywords: the category, the discharge lamp, ballast resistance, start-up adjust of device.