

УДК 681.518.2

А.В. Шульга, Д.Н. Нелюба, А.И. Данник, Е.В. Котюк

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ЗАЖИГАНИЯ МЕТАЛЛОГАЛОГЕННЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

*Проведен анализ возникновения и формирования столба разряда в межэлектродном пространстве горелки металлогалогенных ламп высокого давления в процессе пуска. Определены этапы формирования и установления дугового разряда с выходом лампы в рабочий режим.*

**Ключевые слова:** разряд, электрод, катод, анод, тлеющий разряд, плазма, плазменный катод, вольт-амперная характеристика.

### Введение

При разработке новых типов источников света особое внимание уделяется энергоэкономичности, высоким световым и эксплуатационным характеристикам ламп, простоте и надежности систем управления процессами пуска и работы в различных режимах.

В настоящее время металлогалогенные лампы высокого давления (МГЛ), отвечающие этим требованиям, находят все большее применение в народном хозяйстве, как для осветительных, так и для специальных целей.

МГЛ средней мощности (400 и 700 Вт), отличающиеся своей компактностью и сравнительно хорошей цветопередачей, начинают широко использоваться вместо ртутных ламп высокого давления (РЛВД) для освещения улиц и площадей, автострад, стадионов, а также производственных помещений и средств управления движением. Основными трудностями на пути развития МГЛ является увеличение срока службы и повышение стабильности в процессе эксплуатации. Для их преодоления усовершенствуется конструкция лампы, применяются новые, более качественные материалы для изготовления деталей и узлов лампы, а также исследуются возможности применения различных схем включения МГЛ и разрабатывается пускорегулирующая аппаратура.

К сожалению, повышенное пусковое напряжение МГЛ заставило использовать в схеме зажигания специальные зажигающие устройства (ИЗУ). Применение схемы включения МГЛ с ИЗУ обеспечивает надежное зажигание лампы импульсом высокого напряжения (до 10 кВ) на протяжении срока службы. Однако, применение зажигающего устройства, наряду с положительным явлением, имеет и отрицательные стороны: удорожание схемы включения и световых приборов, уменьшение срока службы лампы. Уменьшение срока службы МГЛ в данном случае обуславливается разрушением электродов лампы импульсами высокого напряжения в момент зажигания лампы [1].

Исследования, приведенные в области схем включения МГЛ, привели к созданию различных типов схем на полупроводниковых приборах с использованием биметаллических контактов и др. Эти работы позволяют исключить ИЗУ, однако, они также приводят к дополнительным затратам и к усложнению технологического процесса изготовления ламп.

**Цель статьи.** Исследование процесса возникновения разряда в металлогалогенных лампах высокого давления и поиск путей оптимизации процесса пуска (зажигания) ламп.

### Основной материал исследования

Развитие разряда между основными электродами 1 и 2, которые в рабочей схеме на переменном напряжении выполняют функцию анода и катода, происходит после возникновения вспомогательного разряда между электродами 1 и 3 (рис. 1). В случае, когда электрод 1 выполняет функцию катода, электрод 2 – анода, а электрод 3 – анода вспомогательного разряда. При зажигании тлеющего разряда на поджигающий электрод 3 между электродами 1 и 3 образуется плазма. Плазма играет роль и катода по отношению к основному электроду 2, играющему роль анода [2].

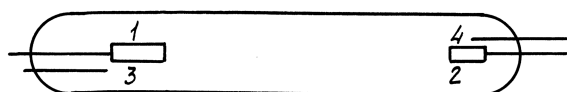


Рис. 1. Схема расположения электродов в многоэлектродных газоразрядных источниках света (ГРИС)

Вследствие диффузии электронов и ионов из плазменного катода в направлении к аноду 2 в его цепи появляется ток. Ток будет электронным при небольших отрицательных и положительных потенциалах анода 2 относительно плазменного катода. Сначала ток с увеличением потенциала на участке АВ (рис. 2) быстро нарастает, а затем на участке ВС увеличивается относительно слабо.

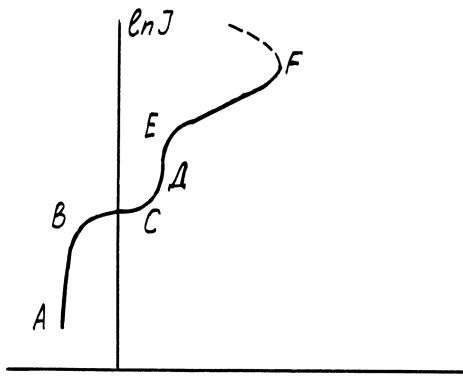


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) основного разряда в ГРИС

Участки АВ и ВС в некоторой степени аналогичны участкам зондовых характеристик. Однако, это чисто формально, т.к. в данном случае роль зонда выполняет анод, имеющий большие размеры и расположенный на значительном расстоянии от плазмы вспомогательного разряда. Ток на участках АВ и ВС получил название подразрядного электронного тока.

Ионизация газа на этих участках отсутствует. Наличие больших подразрядных токов из плазменного катода (порядка десятков и сотен микроампер) существенно влияет на возникновение разряда между основными электродами 1 и 2. При отсутствии плазменного катода сначала между ними возникал бы темный разряд, затем тлеющий и потом – дуговой. Как известно, возникновение темного разряда происходит при очень малых токах, которые меньше на несколько порядков подразрядных токов. Поэтому, при наличии плазменного катода развитие разряда происходит, минуя стадию темного разряда.

Развитие разряда на зонд, помещенного в плазму, изучил Клярфельд. На рис. 3 показана ВАХ зонда, полученная Клярфельдом в плазме паров ртути.

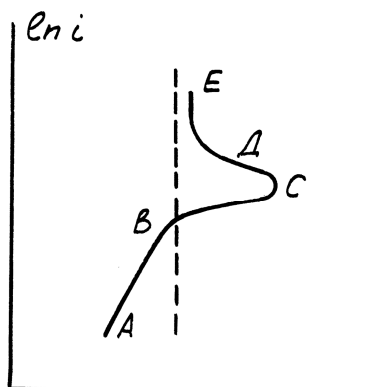


Рис. 3. ВАХ зонда для изучения развития разряда в ГРИС

Эта характеристика имеет сходство с ВАХ на рис. 2. Из неё видно, что при определенном потенциале зонда (точка С) дифференциальное сопротив-

ление оказывается равным нулю. Это явление характеризуется началом падения потенциала зонда и увеличения тока. До указанного потенциала между зондом и плазмой существует двойной слой пространственного заряда с избытком отрицательного заряда у зонда, а положительного – у границы плазмы. В момент, соответствующий точке С, происходит пробой двойного слоя. Вблизи зонда зарождается первый участок плазмы, затем размеры плазмы быстро увеличиваются, ток при этом нарастает, а потенциал зонда падает. Согласно терминологии Клярфельда, точка С соответствует режиму перехода работы зонда в “режим анода”.

В случае зонда больших размеров, удаленные от границы плазмы физические процессы несколько отличаются от процессов при зонде малых размеров, помещенного в плазму. Исследования, проведенные Т.А. Ворончевым [3], позволили для участка СД (рис. 3) представить другую картину разряда.

Ионизация газа потоком электронов из плазменного катода приводит к перераспределению поля между плазменным катодом и анодом и к возникновению переходной стадии развития разряда к разряду типа “анодное свечение”. При этом на поверхности анода образуется тонкая светящаяся пленка, в которой происходит возбуждение и ионизация газа. Эта пленка начинает выполнять функцию эмиттера ионов. Последние, двигаясь навстречу электронам из плазменного катода, частично компенсируют отрицательный пространственный заряд электронов и вызывают увеличение тока (участок СД). С увеличением потенциала основного анода около его поверхности возникает небольшой шарик (точка Д), а затем появляется объемное свечение (вблизи точки Е). Объемное свечение с ростом тока увеличивается в размерах и распространяется в сторону катода С. С появлением объемного свечения возникает новый вид разряда, который имеет сходство с тлеющим разрядом. Однако, это не обычный тлеющий разряд. При последующем увеличении потенциала основного электрода объемное свечение занимает почти все пространство между основными электродами. При этом вспомогательный разряд перестает практически влиять на основной разряд. Последний переходит в стадию тлеющего разряда, а вспомогательный анод начинает работать в качестве зонда.

В работе [1] А.Е. Атаевым проведены исследования возникновения и формирования основного разряда. Исследования проводились на лампе специальной конструкции – с подвижным анодом и большими размерами для удобства визуальных наблюдений за характером свечения газового разряда (рис. 4).

Для повышения яркости свечения экспериментальные лампы наполнялись неоном вместо аргона до давления 2660 Па.

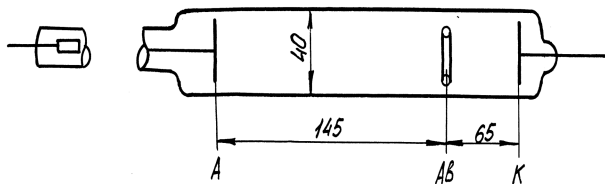


Рис. 4. Конструкция экспериментальной лампы

В процессе откачки, с целью повышения стабильности разряда при измерениях, катод подвергался тренировке тлеющим разрядом до получения почти равномерного покрытия поверхности отрицательным тлеющим свечением.

На рис. 5 показана характеристика основного разряда при токе вспомогательного разряда  $I_{всп} = 5$  мА и расстоянии между основным и вспомогательным анодами  $d = 70$  мм. Расстояние между катодом и вспомогательным анодом составляло 65 мм.

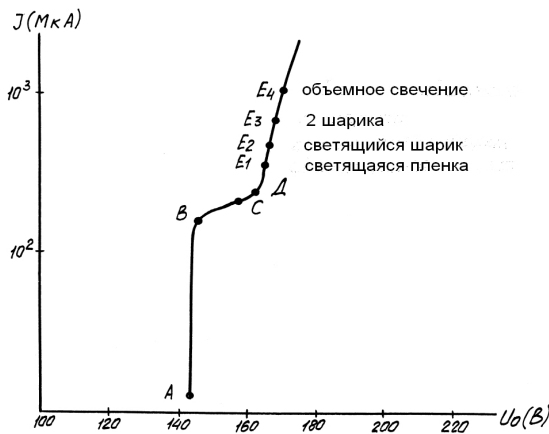


Рис. 5. ВАХ основного разряда при  $U_{всп} = (158...161)$  В,  $I_{всп} = 5...4,85$  мА,  $d = 7$  см

На рис. 6 показана форма свечения основного и вспомогательного разрядов. При повышении напряжения основного анода относительно катода при некотором напряжении на поверхности анода появляется светящаяся пленка. Происходит это при напряжении и токе, которые соответствуют приблизительно точке  $E_1$  на ВАХ (рис. 5). В этой точке напряжение переноса (между основным и вспомогательным анодами равно примерно 5 – 6 В. Появление светящейся пленки свидетельствует о том, что вблизи анода начинается возбуждение неона. На самом деле, очевидно, происходит не только возбуждение, но и ионизация газа. Более того, она начинается раньше, чем в точке  $E_1$ . Об этом свидетельствует перегиб кривой на участке СД и последующее быстрое нарастание тока. Необходимую для ионизации газа энергию электроны приобретают за счет разности потенциалов между основным анодом и плазменным катодом и за счет начальной энергии электронов в плазменном катодом. Если принять за потенциал плазменного

катода точку перегиба кривой на участке АВС, то трудно убедиться, что энергия электронов будет достаточна для ионизации газа.

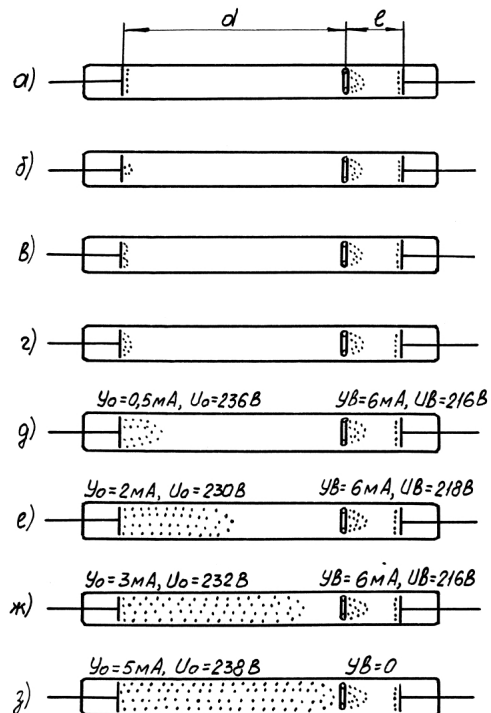


Рис. 6. Изменение картины свечения с увеличением тока основного электрода I ( $d = 70$  мм,  $l = 65$  мм)

При дальнейшем повышении напряжения анода на его поверхности появляется светящийся шарик (точка  $E_2$ ), затем два (точка  $E_3$ ) или даже несколько шариков (рис. 6, б), в). При дальнейшем увеличении тока и напряжения шарики увеличиваются в размерах и потом перерастают в объемное свечение с неравномерной интенсивностью свечения.

На рис. 6, д), е), ж) показаны картины свечения в объеме. На участке между катодом и вспомогательным анодом свечение не меняется при увеличении тока на основной анод. Между основным и вспомогательным анодами расположились два участка: участок полутемного (или почти темного) пространства и участок объемного свечения. Протяженность этих участков оказалась зависимой от токов вспомогательного и основного разрядов. С увеличением тока основного разряда размеры объемного свечения увеличиваются, и его граница перемещается в сторону катода. С увеличением же тока вспомогательного разряда, наоборот, протяженность объемного свечения уменьшается, и его границы двигаются в обратном направлении, т.е. от катода. Если же пропорционально увеличить токи основного и вспомогательного разрядов, то протяженность темного пространства практически остается без изменений.

Объемное свечение у основного анода по некоторым свойствам имеет сходство с положительным

столбом тлеющего разряда. На самом деле при перемещении подвижного основного анода на некоторую величину, как и в обычном тлеющем разряде, уменьшается протяженность тлеющего свечения. Кроме того, путем изменения положения анода был замечен градиент потенциала в объемном свечении. Он оказался равным 4 В/см. Такая же величина градиента потенциала была измерена в положительном столбе обычного тлеющего разряда (при выключенном токе вспомогательного разряда).

Когда наступает равенство между токами основного и вспомогательного разрядов, объемное свечение и свечение плазменного катода сливаются. При этом наблюдается почти равномерное свечение разряда. На рис. 6, з) показана картина свечения при выключенном токе вспомогательного разряда. В этом случае мы видим обычный тлеющий разряд. Почти все пространство заполняется положительным столбом с практически равномерной интенсивностью свечения газа, а вблизи катода на протяжении примерно 40 мм находится темное фарадеево пространство.

### Выводы

По результатам визуального исследования свечения в процессе переноса тока из плазменного катода на основной анод были сделаны следующие выводы:

1. При разности потенциалов между основным анодом и плазменным катодом, равной приблизительно потенциалу ионизации газа, на поверхности основного анода возникает свечение, которое проявляется сначала в виде тонкой пленки, а затем в виде одного или нескольких светящихся шариков. При этом происходит уменьшение дифференциального сопротивления разрядного промежутка и возникает разряд типа ‘анодное свечение’.

2. При увеличении тока разряда типа ‘анодное свечение’ переходит в разряд с анодным свечением, который является некоторой модификацией тлеющего разряда. Он отличается от тлеющего наличием двух темных (вместо одного) пространств, которые образуются по обе стороны от вспомогательного анода. При возникновении этого разряда у основно-

го анода появляется объемное свечение, которое с ростом тока основного анода постепенно распространяется в сторону плазменного катода и затем сливается с ним, образуя протяженную светящуюся область с почти равномерным распределением интенсивности свечения. При этом разряд с ‘объемным свечением’ переходит в обычную форму тлеющего разряда. После этого выключение или включение вспомогательного разряда не влияет на основной разряд. Однако, если ток вспомогательного разряда повысится и сделать его больше основного, то основной разряд снова перейдет в форму разряда с ‘объемным свечением’.

3. Объемное свечение по своей внутренней структуре имеет, по-видимому, большое сходство с положительным столбом тлеющего разряда. Об этом свидетельствует измерение градиента потенциала. В обоих случаях градиент потенциала оказался равным 4 В/см.

4. С точки зрения напряжения формирования основного разряда при наличии вспомогательного разряда интересует только напряжение, соответствующее точке А (рис. 2), после которого наблюдается уменьшение падения напряжения на промежутке при сравнительно большом увеличении тока на основной анод. После этого напряжения наблюдается смыкание оболочек объемного свечения со свечением в катодной области вспомогательного электрода, т.е. происходит формирование разряда.

### Список литературы

1. Атаев А.Е. Зажигание ртутных разрядных источников излучения высокого давления / А.Е. Атаев. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 169 с.
2. Атаев А.Е. О зажигании металлоалюидных ламп / А.Е. Атаев, В.С. Литвинов, Т.Н. Назарова, М.Н. Урлатова // Светотехника. – 1983. – № 4. – С. 16-17.
3. Ворончев Т.А. Физические основы электровакуумной техники: учеб. пособие для студентов электротехнических и радиотехнических вузов / Т.А. Ворончев, В.Д. Соболев. – М.: Высшая школа, 1967. – 352 с.

Поступила в редколлегию 10.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В.Козелков, ГП «Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления», Киев.

### УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАПАЛЮВАННЯ МЕТАЛОГАЛОГЕННИХ ЛАМП ВИСОКОГО ТИСКУ

О.В. Шульга, Д.М. Нелюба, О.І. Данник, К.В. Котюк

*Проведений аналіз виникнення і формування стовпа розряду в міжелектродному просторі пальника металогалогенних ламп високого тиску в процесі пуску. Визначенні етапи формування і встановлення дугового розряду з виходом лампи в робочий режим.*

**Ключові слова:** розряд, електрод, катод, анод, тліючий розряд, плазма, плазменний катод, вольт-амперна характеристика.

### THE METAL-HALIDE HIGH PRESSURE LAMPS IGNITION PROCESS CONTROL

O.V. Shulga, D.M. Nelyuba, O.I. Dannik, K.V. Kotyuk

*The occurrence and formation carried out analysis of the spark column in interelectrode space of a torch metal- high pressure halide lamps in the start-up process. A formation and an establishment stages of the electric arc with a operating conditions lamp transition are defined.*

**Keywords:** spark, electrode, cathode, anode, electric glow discharge, plasma, plasma cathode, current-voltage characteristic.