

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,  
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**С. Л. Бухарин**

***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***

к практическим занятиям по дисциплине

***«По выбору студента»***

**(«Специальные источники света»)**

(для студентов 5 курса дневной формы обучения  
специальности «Светотехника и источники света»)

**ХАРЬКОВ – ХНАГХ – 2011**

**Бухарин С. Л.** Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «По выбору студента» («Специальные источники света») (для студентов 5 курса дневной формы обучения специальности «Светотехника и источники света») / С. Л. Бухарин; Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2011. – 101 с.

Автор: С. Л. Бухарин

Рецензент: Л. Д. Гуракова

Рекомендовано кафедрой СИС,  
протокол № 5 от 29.03.11 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Под источниками света подразумеваются источники излучения не только в видимой области спектра от 380 до 770 нм., но для всего оптического диапазона спектра электромагнитных волн от 10 нм. до 1мм. Искусственные источники света используются сейчас не только в виде НОЛ – нормальных осветительных ламп для целей освещения, но и во многих отраслях науки, техники и производства. Они всё более часто преобразуют промышленные технологии и часто выступают как орудия труда. Например, применение зеркальных инфракрасных ламп для сушки кузовов автомобилей дало возможность сократить сроки сушки в 2-3раза, по сравнению с сушкой нагретым воздухом. Применение ряда специальных источников света с заданным спектром излучения позволяет ускорить протекание ряда поверхностных и объёмных технологических процессов (фотолитография, множительная техника, сушка эмалевых, лакокрасочных покрытий; получение сложных органических и кремний органических соединений; фармацевтическая, пищевая промышленность, химическое производство и многие другие отрасли используют источники света не только для целей освещения, но и для технологических целей.

Общеизвестна высокая эффективность применения источников оптического излучения в сельском хозяйстве. Так, при ультрафиолетовом облучении кур, их яйценоскость увеличивается  $\approx 18\%$  с одновременным улучшением качества яиц. Облучение яиц в инкубаторах, особенно в зимнее время, приводит к увеличению выводимости цыплят на 8% утят на 17%. Инфракрасное облучение свиноматок и поросят, в зимний период, позволяет увеличить привесы молодняка на 20%. Дополнительное искусственное облучение рассады овощей в тепличных хозяйствах позволяет на 15-20 дней ускорить созревание овощей, на 15-20% повысить их урожайность. Себестоимость овощей за счёт дополнительного облучения рассады снижается на 15-20%. Стоимость облучаемых установок окупается за 1 год.

## ТЕМА 1.

### **Классификация, параметры и характеристики источников света. Маркировка ламп накаливания и газоразрядных ламп.**

#### **1.1. Классификация, параметры и характеристики источников света.**

С физической точки зрения источником света может быть названа любая материальная система, излучающая электромагнитную энергию в оптической области спектра.

В технике источниками света называют приборы, служащие для преобразования какого-либо вида энергии в энергию оптического излучения.

Источники света могут быть естественными и искусственными. К естественным относятся звёзды, молния, светлячки и т.д. Искусственные – это свеча, электрическая лампочка и т.д. Мы будем изучать искусственные источники излучения.

По физической природе различают 3 вида искусственных оптических источников:

- 1) тепловые;
- 2) люминесцентные;
- 3) смешанные.

Тепловыми называют источники оптического излучения, возникающего при нагревании тел. У твёрдых тел излучение имеет сплошной спектр, зависящий от температуры и оптических свойств. Тепловыми излучателями являются все источники, свечение которых обусловлено нагреванием (электрические лампы накаливания, простые угольные дуги, т.е. лампы с угольным телом накала, все пламенные источники света), т.е. искусственные тепловые излучатели делятся на электрические и основанные на сжигании.

Электрические тепловые излучатели делятся на эл. лампы накаливания с телами накаливания, работающими в вакууме или инертном газе и источники с открытыми телами накала, работающими на воздухе.

К первой группе можно отнести: лампы общего назначения, лампы местного освещения (на пониженные напряжения питания), транспортные лампы, лампы для сигнализации и индикации, лампы для оптических систем и приборов, метрологические лампы, лампы для технологических целей (инфракрасные зеркальные лампы, галогенные лампы ИК излучения, лампы для фотографии), лампы для специальных светотехнических систем (рудничные, для подводного освещения, для эксплуатации при высоких или низких температурах, под высоким давлением, или пониженным).

Ко второй группе с телами накала, работающими на воздухе: эталонные и образцовые излучатели (технические модели чёрного тела); излучатели для технологических целей (стеклянные и кварцевые излучатели с нихромовой спиралью), керамические излучатели, трубчатые электронагреватели – ТЭН и др., дуговые лампы с угольными электродами (простые угольные дуги).

Тепловые излучатели, основанные на сжигании, делятся на: калильные источники, пламенные источники и газовые беспламенные излучатели. Это керосиновые и спирто-калильные лампы, газокалильные горелки. К пламенным источникам относятся источники основанные на сжигании твёрдых веществ; источники основанные на сжигании жидкостей; (к ним относятся масляные и керосиновые лампы), и основанные на сжигании горючих газов (горелки Бунзена, Меккера, Тесла с открытым пламенем), излучатели с внутренним сжиганием (к ним относятся излучатели с диафрагмами: перфорированными, фракционными, пористыми). Излучатели с наружным сжиганием: излучатели чашеобразные, макроканальные.

**Люминесцентные источники света.** Люминесцентными называют источники, свечение которых основано на явлении люминесценции.

**Люминесценцией называют спонтанное излучение, избыточное над тепловым, если его длительность значительно превышает период колебания электромагнитной волны соответствующего излучения.** Люминесценция наблюдается в газообразных, жидких и твёрдых телах. К люминесцентным и источникам смешанного излучения можно отнести все газоразрядные лампы.

Классификация газоразрядных ламп возможна по физическим, конструктивным признакам, эксплуатационным свойствам и областям применения.

По физическим признакам, которые определяют важнейшие свойства газоразрядных ламп: такие как спектр и цветность излучения, яркость, градиент потенциала, энергетический КПД. Для них определяющими факторами являются состав газовой среды (рабочее вещество), парциальное давление компонентов газовой смеси и ток. Вместе с видом разряда, используемой областью свечения и размерами газового промежутка, они определяют мощность и напряжение, габариты и конструкцию газоразрядной лампы и её узлов, их тепловой режим, выбор материалов и связанные с этим особенности эксплуатации и области применения.

По виду разряда газоразрядные лампы делятся на дуговой, тлеющий и импульсный.

По составу газов или паров, в которых происходит разряд, делятся на лампы с разрядом:

- 1) в газах; 2) в парах металлов; 3) в парах металлов и их соединений.

По рабочему давлению газоразрядные лампы делятся на:

- 1) лампы низкого давления примерно от 0,1 до  $10^4$  Па до 0,1 атм.
- 2) лампы высокого давления от  $3 \cdot 10^4$  до  $10^6$  Па. от 0,3 атм до 10 атм.
- 3) лампы сверхвысокого давления более  $10^6$  Па. более 10 атм.

По области свечения лампы: 1) со столбом; 2) тлеющего свечения.

В зависимости от того, что является основным источником излучения, газоразрядные лампы делятся на:

- 1) газо- или паросветные, в которых излучение вызвано возбуждением атомов, молекул или рекомбинацией ионов.

2) фотолюминесцентные (называемые для краткости просто люминесцентные), в которых излучение создают люминофоры, возбуждаемые излучением разряда.

3) электродосветные, в которых излучение создаётся электродами, раскалёнными в газе до высокой температуры. У большинства ламп 2 и 3 типа к основному виду излучения примешивается излучение разряда, таким образом, они являются по существу, источниками смешанного излучения.

По форме колбы газоразрядные лампы со столбом подразделяются на:

1) трубчатые или линейные, у которых расстояние между электродами в 2 и более раз превышает внутренний диаметр трубки;

2) капиллярные трубках с внутренним диаметром менее 4мм.;

3) шаровые с расстоянием между электродами меньшим или равным внутреннему диаметру колбы (колбы этих ламп часто имеют форму шара или близкую к ней, откуда они и получили своё название, их также называют газоразрядные лампы с короткой или средней дугой).

По способу охлаждения подразделяют на: газоразрядные лампы с естественным или принудительным, воздушным или водяным охлаждением.

Вернёмся к лампам накаливания. Лампы накаливания классифицируются по двум признакам чаще всего по назначению и по конструкции. Все лампы накаливания ЛН по назначению делятся на 2 группы. ЛН общего назначения (к ним относятся кроме общего назначения лампы местного освещения МО), и лампы специального назначения.

В основе классификации ламп накаливания по конструктивно-технологическим признакам лежит принцип группировки ламп, которые можно изготавливать на однотипном технологическом оборудовании. Это, прежде всего, определяется размером и формой колб, от которых зависят размеры и конструкция ножек, тел накала, вводов, тип цоколя, а значит и характер соответствующего технологического оборудования.

Итак, классификация по конструктивно-технологическим признакам;

Крупногабаритные	диаметр колбы >80мм	длина >175мм;
Среднегабаритные	диаметр колбы 40-80мм	длина 75-175мм;
Малогабаритные	диаметр колбы 25-40мм	длина 30-75мм;
Миниатюрные	диаметр колбы 5-20мм	длина 10-30мм;
Сверх миниатюрные	диаметр колбы <5мм	длина <10мм;
Цилиндрические	диаметр колбы 15-30мм	длина <80мм;
Лампы фары	диаметр колбы 100-200мм	длина ----- ;
Лампы светильники	диаметр колбы 100-250мм	длина ----- ;
Галогенные	диаметр колбы 5-15мм	длина 15-200мм.

Лампы накаливания могут характеризоваться и по другим признакам, например, по напряжению, мощности, характеру среды, окружающей тело накала и т.д.

## Маркировка

Содержит следующие элементы:

Первый элемент маркировки, от одной до 4-х букв, характеризует лампу по важнейшим физическим и конструктивным особенностям (В - вакуумная моноспиральная, Г - газополная моно спиральная, Б - газополная биспиральная, К - криптоновая, МТ-с матированной колбой, МЛ-с молочной колбой, ОП - с опали новой колбой).

Ряд ламп, особенно специальных, первого элемента в обозначении не имеют.

Второй элемент, из одной двух букв, определяет назначение ламп (МО, МОЗ, МОД - местного освещения; А, АМН, АС - автомобильные; Ж, ЖТ, ЖСК, ЖМТ - железнодорожные; С - судовые; СМ - самолётные; КМ - коммутаторные; ПЖ - прожекторные)

Третий элемент, цифровое обозначение, определяет номинальное напряжение в вольтах и через дефис номинальную мощность или номинальную силу света в кандалах, ток в амперах или световой поток в люменах. Для двух спиральных ламп после номинального напряжения указываются параметры (например, мощности) первой и второй спирали соединены знаком +.

Четвёртый элемент, цифра, указывает номер доработки, у ламп, разработанных впервые, 4-й элемент отсутствует.

Пример маркировки: БКМТ 220-100-2.Накаливания, биспиральная, криптоновая, в матированной колбе, 220В, 100Вт, вторая доработка.

А 12-21+6; накаливания, автомобильная, 12 Вольт, двуспиральная, 21кд и бкд.

Маркировка газоразрядных ламп, по принципу, такая же, как у ламп накаливания (т.е. состоит из четырёх элементов).

## ТЕМА 2.

### Ксеноновые лампы и их применение.

Вид разряда, протекающего в лампах ДКсТ (без внешнего токоограничивающего сопротивления) и его характерные особенности. Формула изобретения. Достоинства и недостатки ламп ДКсТ и основные области их применения. Номенклатура ламп и основные технические параметры. Яркость ксенонового разряда.

При определении возможности использования разрядных ламп необходимо учитывать сложную взаимосвязь, выходных параметров ламп и технических требований пользователя, в каждом конкретном случае применения, для достижения конечной цели, с учётом целесообразности и экономической эффективности.

По некоторым параметрам ксеноновые лампы уступают другим видам разрядных ламп, но наряду с этим они обладают отличительными особенностями, которые позволяют им выдерживать конкуренцию с другими источниками излучения и находить широкое применение в осветительной технике и технологии в разных областях. Начало развития этого класса источников света, в нашей стране, принадлежит Эммануэлю Самойловичу Маршаку, заложившему основы разрядных импульсных и дуговых ксеноновых ламп.

Известно, что источники излучения, основанные на использовании электрического разряда в газах или парах металлов, требуют при их включении в сеть, применения балластных устройств ограничивающих ток. Если этого не предпринять, то вследствие падающей ВАХ, с увеличением тока, напряжение на лампе уменьшается, соответственно уменьшается сопротивление лампы, и ток достигает максимального значения, обусловленного только внутренним сопротивлением источника питания. Это вызывает разрушение разрядной лампы. Иными словами, осуществить стабилизацию дугового разряда только с помощью собственного сопротивления разрядной лампы нельзя. Это казалось очевидным и не вызывало никаких сомнений у специалистов, занимающихся разработкой разрядных ламп.

И.С. Маршак преодолел эти традиционные взгляды на ход ВАХ и показал, что возможно существование дугового разряда с возрастающей ВАХ, при которой не требуется применение балластных устройств. К этому Маршак пришел в результате исследований сильнотоочных разрядов, ограниченных стенками трубки. При этих условиях имеет место **квазистационарный насыщенный** разряд.

Характерной особенностью такого разряда является то, что рассеяние электронов ионами преобладает над рассеянием электронов нейтральными атомами, т.е. плотность тока в разряде практически не зависит от степени ионизации, т.к. с ростом числа электронов уменьшается их средняя длина свободного пробега. Следовательно, удельное сопротивление разряда принимает конечное значение и ВАХ становится возрастающей. Таким образом, отпадает необходимость применения балластных устройств для ограничения тока.



Основная заслуга Маршака состоит в том, что он не только теоретически установил возможность осуществления в инертных газах дугового самостабилизированного разряда в длинных трубках, но и нашёл технические решения для создания первых промышленных образцов безбалластных трубчатых ламп непрерывного горения с широким диапазоном мощностей от 6 до 20кВт.

Приоритет в создании новых источников света принадлежит СССР. В 1961 году, изобретена была мощная ксеноновая разрядная лампа, отличающаяся тем что, с целью обеспечения работы лампы без внешнего токоограничивающего сопротивления основные параметры разрядной трубки выбраны в зависимости от эффективного удельного сопротивления плазмы в столбе разряда и допустимой удельной нагрузки на внутреннюю поверхность кварцевой трубки из соотношения:

$$\frac{D}{l_3^2} = 4\rho \frac{P_{уд}}{U^2};$$

где, D - внутренний диаметр, см;

$l_3$  - расстояние между электродами, см;

$\rho$  - эффективное удельное сопротивление плазмы в столбе разряда, Ом×см;

$P_{уд}$  - допустимая удельная нагрузка на внутреннюю поверхность кварцевой трубки, Вт/см<sup>2</sup>;

U - действующее напряжение, В.

Следует сказать, что в конце 50<sup>х</sup> годов в ФРГ были сконструированы трубчатые ксеноновые лампы мощностью до 65кВт, но они были рассчитаны на работу в сети переменного тока с балластным сопротивлением. Для лампы мощностью 20кВт масса дросселя составляла около 200кг, кроме того требовалось наличие конденсаторной батареи ёмкостью 400мкФ, для компенсации коэффициента мощности сети.

Отсутствие балластного устройства в отечественных ксеноновых трубчатых лампах, существенно повышает эффективность их применения. Кроме того, эти лампы обладают ещё и другими достоинствами:

1. Большой диапазон единичной мощности от единицы до десятков кВт.

2. Спектр излучения включает в себя ультрафиолетовую (от 200 нм), видимую и инфракрасную области. В видимой области спектра, цвет излучения близок к солнечному с  $T_{цв}$  6100-6300К., и обеспечивает высокое качество цветопередачи  $R_a$  95-98,  $x=0,33$ ;  $y=0,33$ .

В близкой ИК области (0, 8-1, 0мкм) имеется несколько интенсивных спектральных линий.

3. Возрастающая ВАХ, в диапазоне больших токов, даёт возможность стабилизировать разряд малым балластом, а длинные трубчатые лампы включать без балласта. Коэф. мощности сети почти равен 1.

4. Отсутствует период разгорания.

5. Могут работать в широком диапазоне температур, до  $-50^{\circ}\text{C}$ , без изменения характеристик.

6. Являются экологически чистыми, при разрушении не происходит загрязнение окружающей среды.

7. Сохраняют работоспособность при принудительном воздушном или водяном охлаждении, а также в глубоком вакууме.

8. Могут работать, кроме непрерывного режима, в режиме кратковременных перегрузок (в течение нескольких секунд, когда мощность превышает номинальную в десятки раз), а также в режиме периодических импульсов, когда мощность в импульсе превышает среднюю в 5-10 раз.

9. Позволяют регулировать мощность без изменения спектрального состава излучения.

10. Взрывобезопасны.

#### Недостатки ламп ДКСТ:

1. Высокое напряжение зажигания обусловленное тем, что в момент зажигания давление газа в лампе далеко от минимума по кривой Пашена, лампы требуют сложной схемы поджога.

2. Большой разрядный ток, обусловленный низким значением градиента потенциала (в ксеноне, примерно, в 3-4 раза меньше, чем в ртути). Вследствие этого, электроды приходится делать более массивными, и вводы тоже.

3. Подверженность действию конвекции и внешних магнитных полей, что необходимо учитывать при конструировании и эксплуатации ламп.

4. Относительно низкая световая отдача, для ламп  $2\text{кВт} \approx 17\text{Лм/Вт}$ , для  $25\text{кВт} \approx 35\text{Лм/Вт}$ , с увеличением мощности световая отдача растет, теоретический  $\text{max}$  43-50 Лм/Вт.

Если учесть отличительные особенности, достоинства и недостатки, то экономически эти лампы выгодны, когда требуется:

1. Освещение больших открытых пространств, особенно в северных или труднодоступных районах (т.е. не надо тянуть сети освещения, столбы и т.д., за счёт большой единичной мощности).

2. Обеспечение уровня облученности, превышающего в рабочей зоне в 100 и более раз солнечную, для различных технологических процессов, при термообработке материалов.

3. Концентрация мощных световых потоков, как постоянных, так и периодических, для создания быстродействующих светосигнальных и киноосветительных устройств.

4. Достижение высококачественной цветопередачи при освещении больших площадей, таких, как выставочные залы, ярмарки, стадионы.

5. Выращивание растений в искусственных условиях с освещением максимально приближенным к естественному.

6. Создание всевозможных световых эффектов при сценическом освещении в больших театральных и концертных залах и на стадионах и т.д.

## Номенклатура ламп и основные технические параметры.

Конструктивно дуговые трубчатые безбалластные ксеноновые лампы представляют собой кварцевую трубку, по обоим концам которой впаяны электроды, заканчивающиеся жёсткими или гибкими выводами.

Если лампа предназначена для работы с водяным охлаждением, то её помещают в стеклянный цилиндр. В зазоре между стеклянным цилиндром и кварцевой трубкой циркулирует вода.

Имеются лампы с компактным телом свечения, кварцевая трубка которых свёрнута в спираль.

Излучательные характеристики ксеноновых ламп изучены достаточно полно. К наиболее важным характеристикам можно отнести: световую отдачу; спектральное распределение; к.п.д.; пространственное распределение; цветовую температуру; эквивалентный телесный угол  $\Omega$ , равный отношению светового потока к силе света в направлении нормали к оси лампы.

Световая отдача разряда возрастает с ростом удельной мощности и диаметра трубки.

При прочих равных условиях, световые отдачи увеличиваются при переходе от аргона к криптону, и от криптона к ксенону. В одинаковых условиях, световые отдачи криптонового разряда в 1,5 раза ниже ксенонового, а ксенонового в 1,5 раза ниже отдачи ртутного разряда. Удельная мощность столба также приводит к увеличению светового выхода. При подъеме удельной мощности столба с 0,1 до 5кВт/см, световой выход растёт с 2 до 5кд/Вт, а потом немного падает, при 30кВт/см до 4кд/Вт. Быстрый подъём объясняется, уменьшением доли тепловых потерь, с увеличением удельной мощности. Т.к. потери пропорциональны градиенту температуры, а удельная мощность экспоненциальная функция температуры.

Постепенное падение световой отдачи при больших удельных мощностях связано с тем, что световой КПД серого излучателя, при увеличении температуры выше 6500 К, начинает убывать, вследствие того, что максимум спектральной плотности излучения, начинает сдвигаться из области максимальной чувствительности глаза человека, в сторону более коротких длин волн.

Световой КПД ксенонового разряда меньше, чем у а.ч.т. той же температуры, из-за потерь и из-за того, что коэффициент поглощения  $\alpha$  меньше 1.  $\alpha < 1$ .

Максимум кривой светового к.п.д. смещается в сторону более высоких температур, по сравнению с максимумом для а.ч.т.. Максимум приходится на  $T=8800$  К. Световой к.п.д. для а.ч.т., при этой температуре составляет 60-65Лм/Вт, а для ксенонового разряда 45-50Лм/Вт, она приходится на удельные мощности 5-9кВт/см. Предельная световая отдача могла бы быть увеличена, если бы удалось создать разряд, который был бы непрозрачен ( $\alpha \approx 1$ ), при температурах около 6500 К, которые соответствуют максимуму светового к.п.д. а.ч.т..

По внешнему виду цвет излучения газовых ламп близок к белому, с небольшими оттенками, аргоновые лампы имеют более голубоватый оттенок, чем криптоновые и ксеноновые. Если не считать ближней И.К. области излучения, то ДКсТ можно считать серыми излучателями.

### Яркость ксенонового разряда.

Яркость ксенонового разряда является функцией температуры и эффективного коэффициента поглощения  $\bar{\alpha}$ . Принимая ксеноновый разряд за серый излучатель, можно записать:

$$L_v(T) = \bar{\alpha}(T) L_{sv}(T);$$

где,  $L_{sv}$  - яркость а.ч.т. при той же температуре [кд/см<sup>2</sup>]

В пределах от  $3 \cdot 10^3$  до  $1 \cdot 10^4$  К она равна

$$\lg L_{sv}(T) \approx 7,181 - 1,112 \left( \frac{10^4}{T} \right) \text{ [кд/см}^2\text{]}$$

При температуре 11 000 К поглощение предельно приближается к 1, и тогда яркость  $2 \cdot 10^4$  Мкд/м<sup>2</sup>. Получение температур 11 000 К, пока возможно только в импульсном разряде.

Яркость солнца в полдень  $0,15 \cdot 10^4$  Мкд/м<sup>2</sup>.

Коэффициент пульсации светового потока  $\approx 130\%$ ;

$$K_{\Pi} = (\Phi_{\max} - \Phi_{\min}) / 2\Phi_{\text{cp}}$$

### ТЕМА 3.

**Продолжение основных технических параметров ламп ДКсТ.  
Пространственное распределение излучения отличается от  
косинусного.**

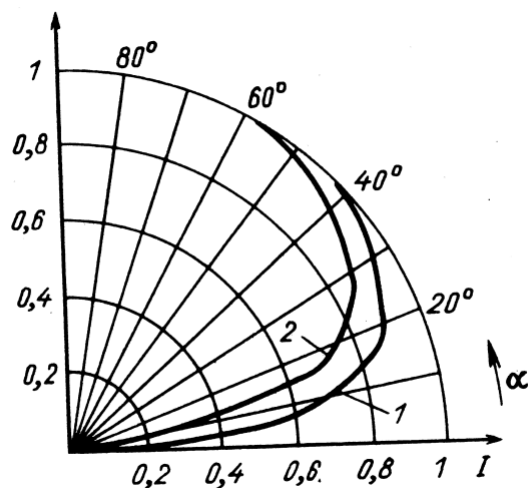


Рис 3.1 – Индикатрисы силы света ламп I в продольной плоскости:  
1 - ДКсТ 10 000; 2 - ДКсТВ 6 000  
( $\alpha$  – угол между осью лампы и направлением наблюдения)

Отличие от косинусного распределения объясняется тем, что столб разряда из-за его малой оптической плотности является не поверхностным, а объёмным излучателем, у которого эквивалентный телесный угол  $\Omega > \pi^2_{\text{ср}}$  – теоретическое значение для непрозрачного равно яркого цилиндрического излучателя.

Угол  $\Omega$  находится в пределах 11, 6-12, 5 ср.  $\pi^2 \approx 9, 87$ .

Яркость вдоль дуги имеет практически одинаковое значение, а по ширине дуги максимальное на оси, которое уменьшается к стенкам трубки.

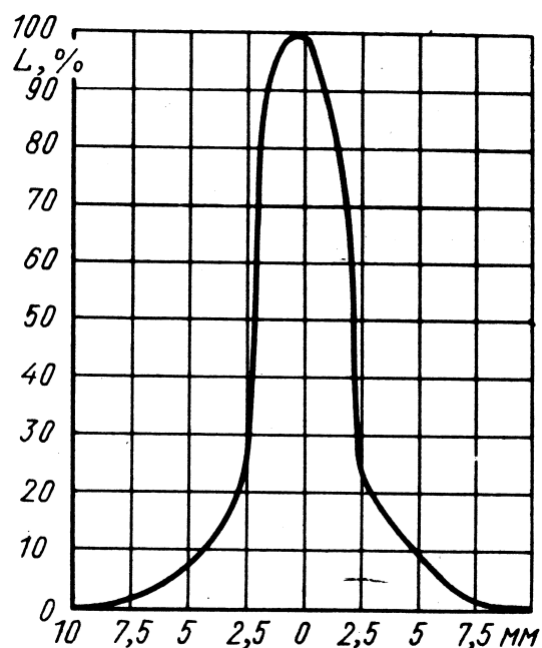


Рис.3.2 – Относительное распределение яркости  $L$  по диаметру трубки лампы.

Ксеноновые лампы рассчитаны на эксплуатацию в промышленных сетях переменного тока, в которых могут работать в различных режимах. На рис.3.3. приведены кривые напряжения сети 1 и тока лампы 2.

Если обозначить действующее напряжение сети и на лампе через  $U_c$ ,  $U_{л}$ , а номинальную и фактическую мощности лампы через  $P_n$ ,  $P_{л}$ , то, пользуясь временными параметрами, приведенными на рис.3.3, можно установить следующие виды режимов работы:

1. Непрерывный режим (НР), когда

$$U_c = U_{л}; P_{л} = P_n; \tau_i = 0; \tau_i \approx T/2.$$

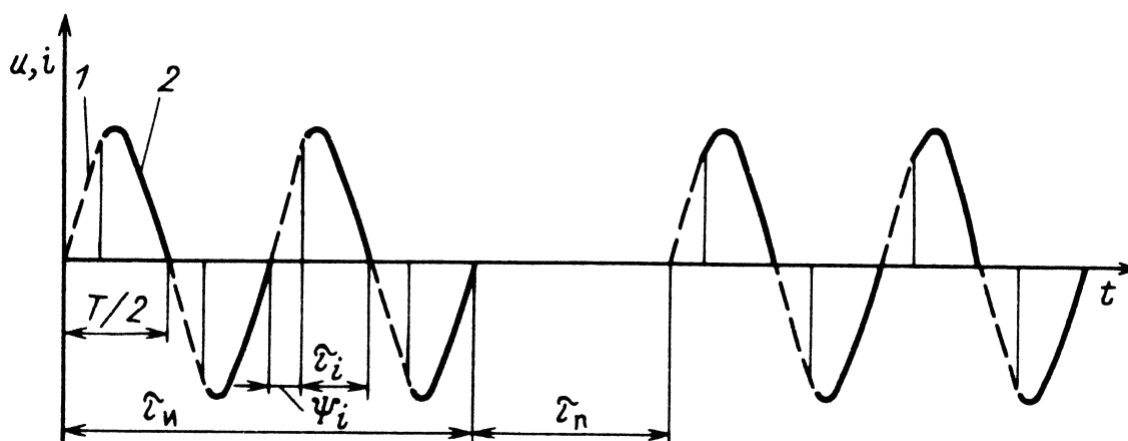


Рис 3.3 – Осциллограммы напряжения сети (1) и тока лампы (2) при различных режимах работы:

$T/2$ -полупериод напряжения сети;  $\tau_i$ -длительность протекания тока лампы за полу период;  $\tau_n$ – время непрерывной работы в импульсе;  $\tau_i$  - пауза.

2.Режим редких вспышек (РРВ), когда

$$U_c > U_n; P_{л} > P_n; \tau_i \gg \tau_e; \tau_i \leq T/2.$$

3.Квазинепрерывный режим (КВР), когда

$$U_c > U_n; \tau_i \leq T/2; \gamma = (\tau_n + \tau_i) / \tau_i > 1; \tau_e = NT; N=1, 2, 3, \dots$$

### Инженерный расчёт электрических параметров.

Для непрерывного режима работы найдена эмпирическая формула:

$$R_{л} = \rho \ell / \pi r_1^2 \theta^2 \quad (1)$$

где,  $\rho$  - эффективное удельное сопротивление плазмы разряда [Ом см];

$\ell$  - расстояние между электродами [см];

$r_1$  - внутренний радиус трубки [см];

$\theta$  - отношение радиуса столба разряда к  $r_1$ .

Теоретически определить  $\rho / \theta^2$  трудно, поэтому пользуются формулой, полученной в результате многочисленных экспериментов:

$$\rho / \theta^2 \approx 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 / \sqrt{r_1} \sqrt[3]{E^3} ; \quad (2)$$

где,  $\rho / \theta^2$  - [Ом см];

$p_{хол}$  - [Па];

$r$  - [см] и E-V/см.

Определение геометрических размеров ламп исходя из заданных значений мощности  $P_{л}$  и напряжения сети  $U_{л}$ , производятся на основании уравнения баланса энергии:

$$P_{л} = U_{л}^2 / R_{л} = \pi d_1 \ell \omega_1(t) ; \quad (3)$$

где,  $\omega_1(t)$ -удельная нагрузка на ед. поверхности [Вт/см<sup>2</sup>], меняющаяся для различных допустимых температур.

Учитывая это и соотношение (1), получим для лампы длиной  $\ell$  и диаметром  $d_1$ :

$$\ell = 0,43 (U_{л}^{2/3} P_{л}^{1/3}) / \omega_1^{2/3} (\rho / \theta^2)^{1/3}$$

$$d_1 = 0,74 (P_{л}^{2/3} (\rho / \theta^2)^{1/3}) / (\omega_1^{1/3} U_{л}^{2/3})$$

Подставляя сюда значение  $\rho/\theta^2$  получим;

$$\ell = 1,4 (P_{\text{л}}^{0,3} U_{\text{л}}^{0,7}) / (\omega_1^{0,5} P_{\text{хол}}^{0,1})$$

$$d_1 = 0,24 (P_{\text{л}}^{0,7} P_{\text{хол}}^{0,1}) / (\omega_1^{0,5} U_{\text{л}}^{0,7})$$

где,  $P_{\text{л}}$  - мощность лампы, Вт;

$U_{\text{л}}$  - напряжение на лампе, В;

$\omega_1$  - удельная нагрузка, Вт/см<sup>2</sup>;

$P_{\text{хол}}$  - холодное давление наполняющего газа, Па.

Исходя из требований обеспечения повторного зажигания необходимо иметь  $d_1 \geq 1,8$  см.

Давление  $P_{\text{хол}}$  выбирают в пределах от 6,5 до 20 кПа. Из эксперимента определена зависимость температуры  $t_2$ -внешней поверхности колбы от удельной нагрузки  $\omega_1$ , для  $P_{\text{хол}}$

От 8 до 15 кПа, и при  $d_1$  от 2,1 до 2,5 см. в условиях естественного охлаждения.

$\omega_1(t)$ , Вт/см <sup>2</sup>	10	15	20	25	30
$t_2$ °C	670	800	860	900	940

Для случая принудительного охлаждения  $\omega_1$  и  $t_2$ , также рассчитываются с помощью специальных формул.

Следует учитывать, что кварцевое стекло при повышении температуры кристаллизуется или расстекловывается, соответственно срок службы лампы при  $t_2=940^\circ\text{C}$ -100 часов, при  $900^\circ\text{C}$  около 1000 часов, при  $800^\circ\text{C}$  около 10 000 часов.

Если в формулы для инженерного расчёта подставить данные;  $P_{\text{л}}=10\,000$ ,  $U_{\text{л}}=U_{\text{с}}=220$  В,

$P_{\text{хол}}=15$  кПа,  $\omega_1(t)=15$  Вт/см<sup>2</sup>, тогда получим:  $\ell = 95,536815$  см;  $d_1=2,34478$  см.

Серийно выпускаются лампы  $\ell = 95$  см, внутренний диаметр  $d_1=2,10$  см.

Ошибка по длине 0,5%, по диаметру 11,4%.



## ТЕМА 4.

### Продолжение инженерного метода расчета ламп ДКсТ. Механизм пробоя и зажигания ламп ДКсТ.

Световой поток лампы,  $\Phi_{л}$ , может быть рассчитан по формуле:

$$\Phi_{л} = P_{л} \eta_{л} = P_{л} (19,3 \lg(P_{л}/I_{б}) - 12); \quad (4.1)$$

где,  $I_{б}$  - [см].

При изменении напряжения сети соответственно будут изменяться электрические и световые характеристики. Эта зависимость выражается следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} U_{с}/U_{л} &= (P_{л}/P_{НОМ})^{1/3,5} = (I_{л}/I_{НОМ})^{0,4} = (\Phi_{л}/\Phi_{НОМ})^{1/4,2} = \\ &= (\eta_{л}/\eta_{НОМ})^{1/0,7} = (R_{л}/R_{НОМ})^{-1/1,5} = (t_{л}/t_{НОМ})^{-1/14}; \end{aligned}$$

где, в последнем выражении,

$t_{л}$  - фактическая наработка лампы (часах),

$t_{НОМ}$  - номинальная наработка лампы.

Т.е. при падении напряжения сети до 200 В при номинальном значении 220 В, световой поток упадет на 33%. При превышении с 220 до 250В, срок службы составит 16% от номинального. Колебания мощности также сильно зависят от колебаний напряжения.

Форма кривой мгновенных значений тока лампы отличается от синусоидальной и описывается выражением:

$$i = I_m \sin \omega t (\sin \omega t)^{1,5}$$

Для более точного расчёта ламп используется метод баланса энергии, но для выражения относительных потерь мощности столба на нагрев колбы, надо пользоваться выражением:

$$a_{ст} \approx 0,126 + 12,8 (\ell_{эл}/P_{л})$$

В остальном расчёт аналогичен лампам ДРТ.

Для ламп с водяным охлаждением расчёт ещё более усложняется.

Процесс нагрева колбы в квазистационарном режиме, в отличие от непрерывной работы, осуществляется поглощением части пиковой мощности столба  $P_{и}$  разряда стенкой, в течение очередного импульса перегрузки  $\tau_{и}$ , и отсутствием нагрева в паузах  $\tau_{п}$ . В этом случае связь между пиковой и средней мощностью определяется соотношением:

$$P_{и} = P_{л} \gamma;$$

где,  $\gamma = (\tau_{и} + \tau_{п}) / \tau_{и}$

При работе лампы в КВР увеличивается удельная мощность в разряде, что приводит к увеличению КПД и, соответственно, к уменьшению потерь в стенках колбы и температуры.

Если мощность лампы в КВР уравнивать со средней мощностью в НР, то в этом случае, можно оценить относительное увеличение световой отдачи и снижение температуры:

$$\eta_c = (P_{\text{н}}/P_{\text{л}})^{0,2}$$

$$\eta_T = [P_{\text{н}} + 100 \ell_{\text{э}} / P_{\text{л}} + 100 \ell_{\text{э}}] 1/\gamma.$$

Можно наоборот, увеличить среднюю мощность лампы в КВР, при которой температура колбы сравняется с температурой при нормальном режиме (непрерывном). Тогда относительное допустимое увеличение мощности находится из выражения;

$$\eta_p = 1 + 100 \ell_{\text{э}} / P_{\text{л}} (1 - 1/\gamma).$$

Таким образом, при работе ДКсТ в КВР можно либо увеличить срок службы за счёт снижения температуры стенки колбы, либо КПД лампы без сокращения срока службы.

### Механизм пробоя и зажигания.

В обычном состоянии газы обладают ничтожной электропроводностью. Для того чтобы перевести газовый в состояние с высокой проводимостью, необходимо обеспечить наличие свободных электронов и ионов за счёт начальной ионизации нейтральных атомов и обеспечить их продвижение к электродам лампы. Это осуществляется подачей на лампу высокочастотных высоковольтных импульсов напряжения с помощью зажигающих устройств (ЗУ). Под воздействием этих импульсов происходит пробой газового промежутка и образование узкого пламенного канала вдоль трубки.

Для объяснения механизма высокочастотного пробоя предложена эквивалентная схема замещения лампы при её включении в сеть (рис.4.1).

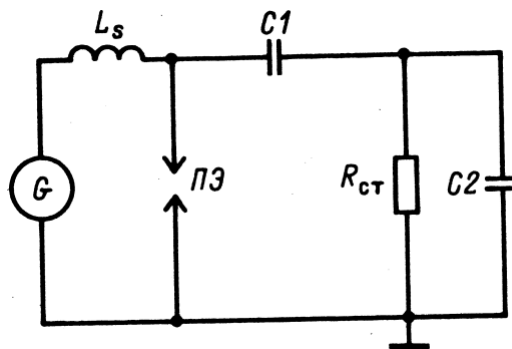


Рис.4.1 – Эквивалентная схема замещения трубчатой лампы при высокой частоте:

- $R_{\text{ст}}$  - сопротивление столба при ВЧ разряде;  $L_s$  - индуктивность проводов;
- $C_1$  - ёмкость между потенциальным электродом (ПЭ) и стенкой трубки;
- $C_2$  - ёмкость трубки относительно земли;  $G$  - генератор ВЧ напряжения.

При высокочастотном пробое трубчатых ламп сразу после подачи напряжения  $U_{\text{вых}}$  на электроды ламп происходит пробой между потенциальным электродом и близлежащим участком стенки, наблюдаемый в виде светящегося канала. По мере роста напряжения увеличивается диаметр и яркость канала разряда на стенку и одновременно происходит продвижение слабо светящегося столба по трубке в сторону заземленного электрода. В момент заполнения светящимся столбом всего объема трубки образуется яркий узкий шнур во всю длину трубки, т.е. происходит межэлектродный пробой, и возникает высокочастотный разряд от вспомогательного источника тока.

Было установлено, что на пробой в длинных трубках влияют стенки трубки, а также ёмкость трубки относительно земли. Очевидно, при высокой частоте это влияние должно возрастать и привести к увеличению напряжения пробоя ламп. Рассмотрим процесс высокочастотного пробоя, пользуясь рис.4.1.

Приложенное к электродам трубки в начальный момент напряжение распределяется обратно пропорционально емкостям  $C_1$  и  $C_2$ . Большая часть напряжения оказывается приложенной к промежутку между ПЭ и близлежащим участком стенки трубки (т.к.  $C_1 < C_2$ ), в результате чего произойдет пробой промежутка. С увеличением частоты доля напряжения на  $C_1$  уменьшается из-за падения напряжения на  $L_s$ . Для компенсации этого падения требуется повысить значение приложенного напряжения. Кроме того, после возникновения начального пробоя ёмкость  $C_2$  начинает играть более заметную роль, так как с ростом частоты происходит перераспределение тока от высокочастотного источника питания в сторону увеличения его в цепи  $C_2$  и уменьшения в цепи  $R_{\text{ст}}$ , что ухудшает условия развития разряда. Компенсация утечки тока из основной цепи также требует увеличения приложенного напряжения.

Найдена эмпирическая формула, связывающая напряжение пробоя  $U_{\text{пр}}$ , параметры лампы и частоту  $f$  приложенного напряжения:

$$U_{\text{пр}} = 5,77 \cdot 10^{-3} (\ell_{\text{э}} \sqrt{P_0} / r_1) [\lg f(9,5) \lg f - 7,6] + 16,4].$$

В результате высокочастотного пробоя создаются условия развития сильноточного разряда от сетевого напряжения, подведенного к электродам лампы. Этот процесс завершается зажиганием лампы, т.е. установлением рабочего тока в её цепи. Весь процесс зажигания включает в себя 2 стадии. На первой стадии – образование маломощного высокочастотного разряда, на второй – формирование основного дугового разряда от мощного источника питания. Такой процесс зажигания относится к виду Е.

## ТЕМА 5.

### Продолжение механизма пробоя и зажигания. Зажигающие устройства и схемы включения. Полупроводниковые коммутаторы. Схемы для зажигания группы ламп.

Схема зажигания, которая устанавливается в особо ответственных случаях.

Первым необходимым условием осуществления такого механизма зажигания, является превышение мощности, выделяемой в канале разряда над мощностью, теряемой в объёме и на стенках колбы лампы.

Вторым необходимым условием является наличие микроучастков на поверхности электродов, разогретых до температуры термоэмиссии. При  $U_{\text{вых}}=U_{\text{пр}}$  высокочастотный разряд фиксирован на определенных участках электродов, а при  $U_{\text{вых}}>U_{\text{пр}}$  перемещается по их поверхности. Очевидно, что в первом случае условия нагрева микро участков более благоприятные.

В реальных схемах зажигания высокочастотное напряжение подается на электроды в виде серии чередующихся импульсов. От числа импульсов зависит значение высокочастотного тока и, следовательно, степень нагрева микроучастков на электродах.

У ламп ДКсТ, включенных в сеть без балласта, кривые мгновенных значений тока и напряжения находятся в фазе, что затрудняет пере зажигания разряда в каждый полупериод.

Для облегчения переза зажигания и уменьшения пауз тока высоковольтные импульсы следует подавать в момент нулевого значения напряжения сети, что позволяет одновременно снизить напряжение зажигания ламп. Это легко осуществить за счет питания лампы и ЗУ от разных фаз сети.

Зажигающее устройство соединяется с лампой проводами определённой длины. При прохождении высокочастотного тока  $I_{\text{в}}$  по проводам часть электромагнитной энергии излучается. Если допустим, что выходная мощность ЗУ распределяется между проводами и лампой пропорционально их длинам  $\ell_{\text{пр}}$  и  $\ell_{\text{э}}$ , то, потери мощности на излучение:

$$P_{\text{изл}}=[\pi f^2 I_{\text{в}}^2 \ell_{\text{пр}}(\ell_{\text{пр}}+\ell_{\text{э}})/13,5 \cdot 10^{16}] \sqrt{\mu_0/\epsilon_0};$$

где,  $\mu_0=1,257 \cdot 10^{-6}$  (В с)/(А м) – магнитная постоянная,  $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$  Кл/(В м) – электрическая постоянная.

При двойной длине проводов 10 м. и частоте  $f=10^7$  Гц потери на излучение составят около 80%, при  $f=5 \cdot 10^6$  Гц-20%, а при  $10^5$  Гц только 2%. Из этого следует важный практический вывод о необходимости снижения частоты выходного напряжения, чтобы уменьшить потери на излучение проводов.

Таким образом, можно сформулировать перечень основных выходных параметров ЗУ для трубчатых ксеноновых ламп, значения которых определяются при разработке в каждом конкретном случае:

$U_{вх}$  - амплитуда высоковольтных импульсов;  
 $f$  - частота колебаний импульса;  
 $N_p$  - число импульсов за полу период сетевого напряжения;  
 $I_{в}, \tau_e$  - действующее значение высокочастотного тока и длительность его протекания;  
 $\psi_i$  - сдвиг фаз между началом серии импульсов и нулевым значением напряжения сети.

### Зажигающие устройства и схемы включения.

В основу большинства ЗУ положен способ использования импульсного трансформатора (ИТ) Т, вторичная обмотка которого подсоединена к электродам лампы VL, а первичная через коммутатор F - к накопительному конденсатору C<sub>2</sub>.

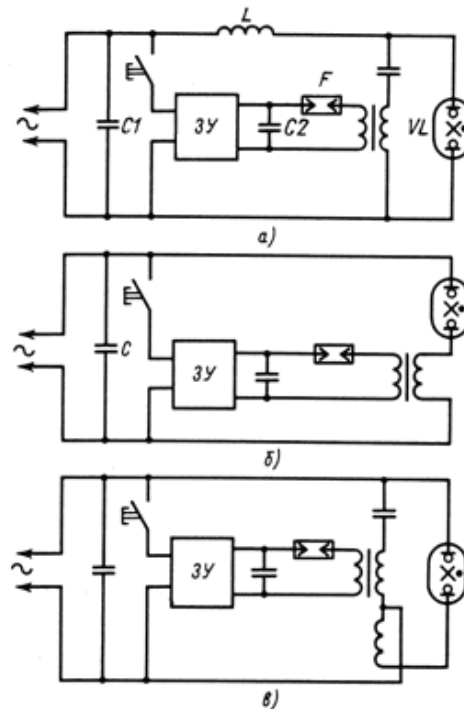


Рис.5.1 – Классификация схем зажигания по способу подсоединения ИТ:  
 а - схема параллельного зажигания; б - последовательного; в - комбинированного.

Преимущество схемы параллельного зажигания состоит в том, что вторичная обмотка импульсного трансформатора не находится в цепи тока лампы. Это позволяет применить обмоточный провод с малым сечением и выбрать большой коэффициент трансформации ИТ с расчетом использования низковольтного источника ЗУ. К недостаткам такой схемы можно отнести то, что в процессе зажигания лампы сетевые провода находятся под полным высоковольтным напряжением. Это приводит к необходимости включения в цепь лампы сложных высокочастотных фильтров-пробок (L, C).

Достоинство схемы последовательного зажигания заключается в отсутствии высокого напряжения на проводах сети, шунтируемого конденсатором C<sub>1</sub>, а к недостаткам следует отнести необходимость применения высоковольтного источника питания для ЗУ.

Схема комбинированного зажигания позволяет при прочих равных условиях обеспечить наименьшее напряжение зажигания.

По типу коммутатора различают ЗУ с механическим, газоразрядным и полупроводниковым коммутатором. Существуют ЗУ для зажигания одной лампы или группы ламп.

По форме выходного напряжения ЗУ делятся на ЗУ с непрерывным и импульсным, с одно полярным и двух полярным выходным напряжением.

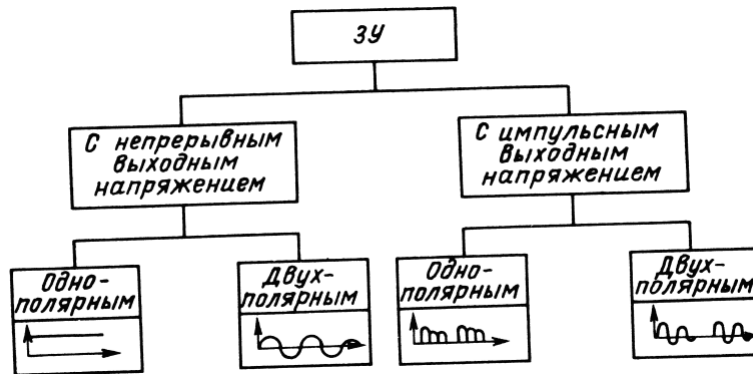


Рис.5.2 – Классификация схем зажигания по форме выходного напряжения.

Выбор того или иного типа ЗУ определяется целым комплексом требований, вытекающих из конкретной задачи применения трубчатой ксеноновой лампы.

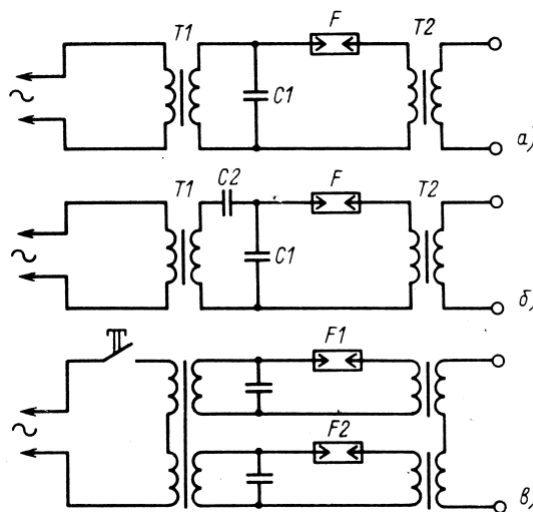


Рис.5.3-Зажигающие устройства с разрядными коммутаторами:

а - с воздушным разрядником; б - с балластным конденсатором;

в - с двумя разрядными коммутаторами.

Рассмотрим схему простейшего ЗУ последовательного зажигания с газоразрядным коммутатором (рис.5.3.-а). При подаче напряжения питания через зарядный трансформатор ЗТ  $T_1$  производится зарядка накопительного конденсатора  $C_1$  до уровня срабатывания коммутатора  $F$ . После пробоя последний конденсатор  $C_1$  разряжается на первичную обмотку  $T_2$ , вследствие

чего во вторичной обмотке индуцируется высоковольтный импульс напряжения, прикладываемый к лампе. Затем этот процесс повторяется.

При срабатывании коммутатора  $F$  происходит короткое замыкание вторичной обмотки зарядного трансформатора  $ЗТ$ , при этом ток короткого замыкания ограничивается только индуктивностью рассеяния. С целью уменьшения тока короткого замыкания в цепь коммутатора включается балластный конденсатор  $C2$ , как это показано на рис.5.3.-б).

Существуют схемы с двумя разрядными коммутаторами.(рис.5.3.-в).

Напряжение пробоя у одного из них немного ниже амплитудного значения напряжения на вторичной обмотке зарядного трансформатора  $ЗТ$ , а у второго значительно ниже. При этом высоковольтные импульсы, генерируемые с помощью первого коммутатора  $F1$ , следующие с частотой 100 Гц, обеспечивают пробой лампы, а импульсы с меньшей амплитудой, генерируемые коммутатором  $F2$ , но следующие с большой частотой, обеспечивают развитие высокочастотного разряда в лампе.

Выходное значение напряжения  $ЗУ$  с разрядными коммутаторами, в том числе и с воздушным, имеет значительный разброс. Это связано с естественным диапазоном колебаний напряжения пробоя газовых промежутков. Кроме того, частота повторения импульсов за полупериод напряжения сети относительно невелика, не более 1000 Гц, из-за значительного времени восстановления электрической прочности газового промежутка после очередного разряда накопительного конденсатора. Применение полупроводниковых коммутаторов, например тиристоров, позволяет улучшить стабильность выходных импульсов напряжения. Более подробно о различных схемах  $ЗУ$  с тиристорными коммутаторами можно прочитать в книге Булатов О.Г., Иванов В.С., Панфилов Д.И. «Тиристорные схемы включения высоко интенсивных источников света» М.: Энергия, 1975г.

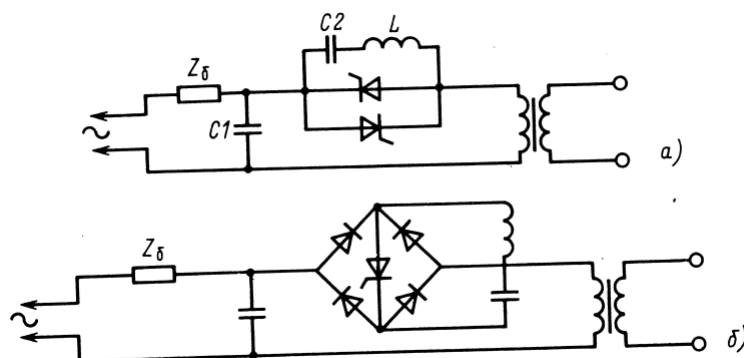


Рис.5.4-Зажигающие устройства с полупроводниковыми коммутаторами:

- а - с двумя тиристорами, включёнными встречно-параллельно;
- б - с одним тиристором, включённым в диагональ выпрямительного моста.

Полупроводниковый коммутатор состоит либо из двух тиристоров  $V1$  и  $V2$ , включенных встречно-параллельно (рис. 5.4. а), либо одного, включенного в диагональ выпрямительного моста (рис.5.4. б). При такой схеме коммутации частота выходных импульсов равна удвоенной частоте сети, т.к. в каждый полу

период происходит разряд накопительного конденсатора  $C1$  на первичную обмотку ИТ в момент подачи отпирающих сигналов на тиристоры. Зарядка конденсатора  $C1$  осуществляется через балластное сопротивление  $Z_6$ , которое может быть в виде резистора, индуктивности или конденсатора. Значение  $Z_6$  выбирается из условия, чтобы время заряда конденсатора  $C1$  было меньше периода следований выходных импульсов.

С целью увеличения частоты выходных импульсов параллельно тиристорному коммутатору подключается цепочка из  $L$  и  $C2$ , которая совместно с тиристором, находящимся в открытом состоянии, представляет собой колебательный контур. В определенный момент времени, когда сумма токов от колебательного контура и разряда накопительного конденсатора станет равной току отключения тиристора, происходит запираение тиристора. После подачи очередного управляющего сигнала на тиристор процесс повторяется. Такая схема ЗУ позволяет увеличить частоту следования выходных импульсов до 2000Гц.

Ранее было показано, что с уменьшением частоты колебаний импульса выходного напряжения, напряжение пробоя трубчатых ксеноновых ламп уменьшается. На рис.5.5.

Показана схема ЗУ с выходным напряжением промышленной частоты.

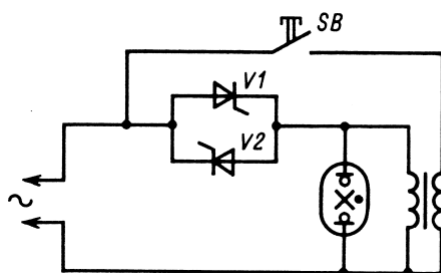


Рис.5.5 – Зажигающее устройство с выходным напряжением промышленной частоты.

Это достигается тем, что к электродам лампы подсоединена вторичная обмотка трансформатора высокого напряжения  $T$  с напряжением, превышающим напряжение пробоя лампы на частоте сети. К этим же электродам подключено напряжение сети через тиристоры  $V1$  и  $V2$ , включенные встречно-параллельно. Процесс зажигания осуществляется следующим образом. В положительный полу период напряжения сети на тиристор  $V1$  подается управляющий сигнал, а в отрицательный – на тиристор  $V2$ , в результате чего к лампе прикладывается полное напряжение сети. Напряжение от трансформатора  $T$  прикладывается к лампе инфазно, т.е. тиристоры, находящиеся в данный полу период в закрытом состоянии, не пропускают это напряжение в сеть. Таким образом, после пробоя лампы через неё будут протекать два тока – ток зажигания от трансформатора высокого напряжения и силовой ток от сети, после чего трансформатор отключается кнопкой  $SB$ .

Имеются схемы ЗУ, предназначенные для зажигания сразу нескольких ламп.



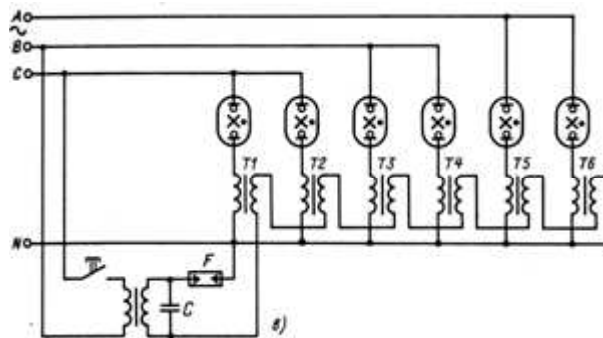


Рис.5.6 – Зажигающее устройство для одновременного зажигания большой группы ламп.

Процесс зажигания с ЗУ, приведенным на рис.5.6., протекает следующим образом. В первый момент после включения ЗУ и срабатывания коммутатора F напряжение  $U_1$  с накопительного конденсатора C прикладывается к соединенным последовательно первичным обмоткам T1-T6. При этом на вторичных обмотках индуцируется высокое напряжение:

$$U_{2i}=nU_1/N,$$

где n-коэффициент трансформации ИТ; N-число ламп в группе до зажигания первой лампы.

Из-за естественного разброса напряжения пробоя лампы  $U_{пр}$  сначала происходит пробой лампы с наименьшим значением  $U_{пр}$  и её зажигание, что приводит к закорачиванию вторичной обмотки соответствующего ИТ по высокочастотной цепи, так как сопротивление горячей лампы составляет единицы Ом. В режиме короткого замыкания сопротивление первичной обмотки в основном определяется индуктивностью рассеяния ИТ, которое заметно меньше индуктивного сопротивления первичной обмотки на холостом ходу. В этом случае напряжение на остальных лампах повышаются согласно формуле

$$U_{2(i-1)}= nU_1/(N-1).$$

Затем происходит пробой и зажигание следующей лампы и так далее, пока не произойдет зажигание последней лампы с наибольшим напряжением пробоя. Такая схема зажигания может быть применена для группы ламп, включенных попарно последовательно. Рис.5.7.

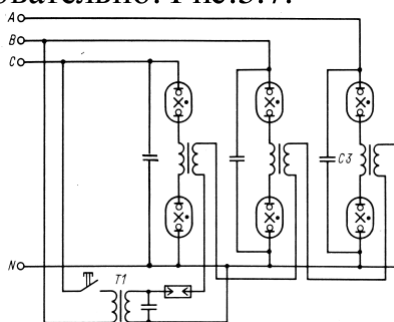


Рис.5.7 – Зажигающее устройство для зажигания большой группы ламп, включенных попарно последовательно.

Недостаток такой схемы группового зажигания (Рис.5.6. и рис.5.7.) состоит в том, что очередность зажигания ламп является случайной. Кроме того, приходится выбирать выходное напряжение с большим запасом, чтобы обеспечить зажигание любой лампы с максимальным напряжением пробоя. С целью установления заданного порядка зажигания ламп и уменьшения выходного напряжения предлагается ИТ выполнять с различными коэффициентами трансформации  $n$ , а их первичные обмотки включать с максимальным значением  $n$  в цепь первой лампы, с минимальным – в цепь последней. Этот приём позволяет также выровнять напряжения на вторичных обмотках ИТ. Коэффициент трансформации  $i$ -го ИТ

$$U_{2i} = KU_{пр.} = U_1 n_i / N = \text{const},$$

где  $K$  – коэффициент запаса по зажиганию, учитывающий разброс параметров лампы и ЗУ.

В большинстве случаев ЗУ предназначаются для зажигания холодных ламп, так как напряжение пробоя горячих ламп более чем вдвое превышает напряжение пробоя холодных ламп. ЗУ с выходным напряжением, обеспечивающим пробой и зажигание горячих ламп, будут иметь значительно большие габаритные размеры и массу. Кроме того, резко увеличиваются требования к электрической прочности элементов ЗУ и токопроводящих цепей. Повторное зажигание ламп может быть осуществлено обычным ЗУ только после их остывания, примерно через 5 мин. после выключения. Задача уменьшения темновой паузы решается с помощью схемы на рис.5.8., которая обеспечивает мгновенное зажигание резервной лампы в случае погасания основной. Резервная лампа холодная и поэтому она загорится первой. Это происходит в случае: кратковременного отключения сети или выхода из строя основной лампы.

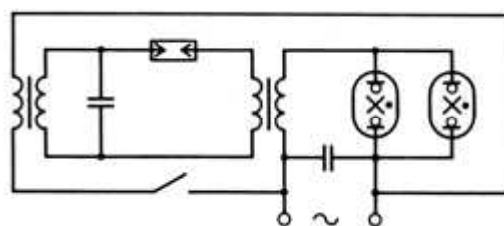


Рис.5.8 – Схема зажигания резервной лампы.

## ТЕМА 6.

### **Некоторые особенности эксплуатации ламп ДКсТ. Ксеноновые лампы СВД с короткой дугой в колбах шаровой формы. Их электрические и световые характеристики.**

При эксплуатации светотехнического оборудования с лампами ДКсТ необходимо учитывать следующее:

1. Питание ламп ДКсТ осуществляется от трёхфазной сети напряжением 380/220 В, с частотой 50Гц. Каждый светильник должен подключаться через трёхполюсный автомат. Сечение нулевого провода и фазных проводов выбираются равными. Коэффициент мощности сети равен 0,9.

2. Электрические и световые характеристики ламп зависят от колебаний напряжения питания. Если эти колебания превышают установленные пределы, рекомендуется использовать тиристорные ограничители напряжения.

3. В большинстве случаев в ЗУ в качестве коммутаторов используются воздушные разрядники. В процессе длительной работы требуется периодически зачищать электроды и регулировать воздушный зазор, начиная с минимального значения.

Если горевшая лампа погасла, то повторное зажигание можно произвести только через 5 минут. Следует иметь также в виду, что продолжительность работы ЗУ не должна превышать 30 секунд. В противном случае оно может выйти из строя из-за перегрева зарядного трансформатора ЗТ.

4. Лампы ДКсТ имеют большую единичную мощность и излучают интенсивные потоки в широком спектральном диапазоне, включая ультрафиолетовое и инфракрасное излучение. Поэтому необходимо принимать меры безопасности, исключающие прямое попадание излучения на человека, находящегося вблизи. Для ламп ДКсТ с колбой из обычного кварца освещённость в рабочей зоне не должна превышать 150лк.

Необходимо также учитывать, что расположенные близко от лампы предметы могут нагреваться за счет поглощения излучения до очень высокой температуры. Это может представлять опасность как для самого предмета, так и для обслуживающего персонала. По этой же причине при размещении светильников на фермах или мостиках необходимо исключать попадание излучения от лампы на находящиеся рядом несущие конструкции.

5. Большие размеры и масса светильников с лампами ДКсТ требуют обеспечения свободного и удобного доступа к ним для монтажа и обслуживания. Рекомендуется перед установкой новой лампы её колбу протереть спиртом во избежание преждевременной кристаллизации кварцевой оболочки (расстекловывания).

6. Для защиты персонала от слепящего действия ламп, обладающих большой габаритной яркостью, следует в конструкции светильников

предусматривать защитные углы, как в продольной, так и поперечной плоскостях не менее 30°.

7. Пульсация светового потока ламп ДКсТ, как и других газоразрядных ламп равна удвоенной частоте сети, т.е. 100 Гц. Коэффициент пульсации у ламп ДКсТ при однофазном включении - 130%, при двухфазном - 60%, при трёхфазном - 15%. По существующим требованиям коэффициент пульсации освещенности в рабочей зоне не должен превышать 20%. Поэтому при применении ламп ДКсТ для освещения на территории оборудования с вращающимися деталями для исключения возможности проявления стробоскопического эффекта необходимо использовать не менее трёх ламп, включенных на самостоятельные фазы в трехфазной сети.

### **Ксеноновые лампы СВД с короткой дугой в колбах шаровой формы.**

Лампы характеризуются малыми размерами светящегося тела и высокими яркостями. По своей конструкции они подобны ртутным лампам СВД с короткой дугой. Лампы представляют собой кварцевую колбу, в которую введены два электрода. Расстояние между электродами, в лампах широкого применения, составляет от 3 до 6мм. У специальных ламп снижается до 0, 3-2, 5мм.. Холодное давление ксенона составляет от  $1 \cdot 10^5$  до  $15 \cdot 10^5$  Па или  $\approx 1-15$ атм. Лампы изготавливают в широком диапазоне мощностей от 50Вт до 7кВт. и выше. Лампы предназначенные для работы на постоянном токе, имеют массивный анод и сравнительно тонкий катод. Это связано с тем, что на аноде выделяется значительно большая мощность, чем на катоде.

Конвекционные потоки вызывают нестабильность положения дуги. Для уменьшения роли конвекции, лампы приходится эксплуатировать в вертикальном положении и ограничивать длину дуги. Исключение составляет только несколько типов ламп. Установлено, что стабильность дуги ухудшается, когда катод расположен вверху, поскольку конвекционные потоки и поток электронов направлены навстречу друг другу, что вызывает неспокойное горение дуги. Когда катод расположен внизу, то потоки направлены одинаково и дуга горит более устойчиво. Однако при этом анод дополнительно нагревается конвекционными потоками.

Лампы могут эксплуатироваться в горизонтальном положении при наличии магнитной стабилизации дуги.

Вследствие значительно меньшего градиента потенциала в ксеноне и малого расстояния между электродами при той же мощности, что у ртутных ламп, значения тока ксеноновых ламп в 4-5 раз больше. Из-за этого в лампах применяются более массивные электроды и в основном цилиндрические вводы.

### Электрические характеристики.

Напряжение, подаваемое на лампу, делится на падение напряжения в положительном столбе, в анодной и катодной частях разряда и падение напряжения на вводах в лампу:

$$U_{л} = U_{ст} + U_{а.к.} + U_{в.}$$

Падением напряжения на вводах обычно пренебрегают. Анодно-катодное падение напряжения у рассматриваемых ламп невелико и изменяется мало:  $U_{а.к.} = 9 \div 10$  В. Для токов лампы от 20 до 200 А. Предлагается следующее выражение для вольтамперной характеристики ксеноновой лампы СВД постоянного тока:

$$U_{л} = BI_{л} + D,$$

где  $B$  и  $D$ -коэффициенты, зависящие от расстояния между электродами и давления в «холодной» лампе. Эти коэффициенты выражаются следующими эмпирическими зависимостями:

$$B = 0,03 \cdot 10^{-5} p_{хол} b_{э} + 0,05;$$

$$D = 2,33 \cdot 10^{-5} p_{хол} b_{э} + 8,6,$$

где  $p_{хол}$ -в Па;  $b_{э}$ -в см.

### Градиент потенциала.

Вблизи катода (1, 5-2 мм) из-за стягивания разряда происходит повышение градиента по сравнению с градиентом в столбе. Градиент потенциала в столбе возрастает с ростом давления и имеет минимум от тока (при  $p = \text{const}$ ).

$$E \approx (0,03I + 2,3)p_{хол};$$

$$E_{пят} \approx (0,03I + 2,3)p_{хол} + 0,05I_{пят}.$$

### Световые характеристики.

Распределение яркости в разряде. Шнур разряда ксеноновых ламп постоянного тока при работе в вертикальном положении с катодом внизу имеет форму конуса, опирающегося своим остриём на кончик катода и постепенно расширяющегося кверху (рис.6.1.)

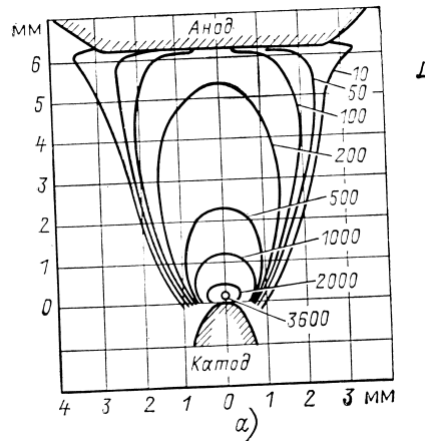


Рис.6.1 – Типичное распределение яркости в направлении, перпендикулярном оси лампы.

Около катода образуется маленькое катодное пятно, имеющее весьма высокие яркости.

На Рис.6.2. изображены типичные распределения яркости вдоль и поперек оси разряда для ламп переменного тока.

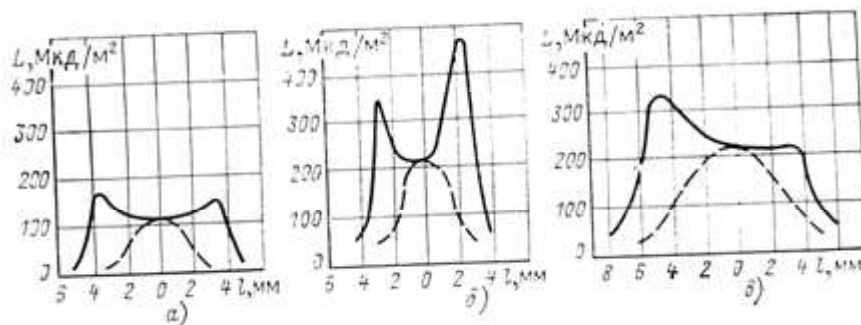


Рис.6.2 - Типичное распределение яркости вдоль (сплошные линии) и поперек (штриховые) в ксеноновых лампах СВД с короткой дугой переменного тока:  
**а** - мощностью 800 Вт; **б** - 1000Вт; **в** - 2500Вт.

Наблюдаемое распределение яркости в шнуре разряда остаётся подобным при изменении условий разряда в весьма широком диапазоне. Это даёт возможность построить в относительной системе координат универсальную кривую распределения яркости вдоль оси разряда ксеноновой дуги для ламп постоянного тока.

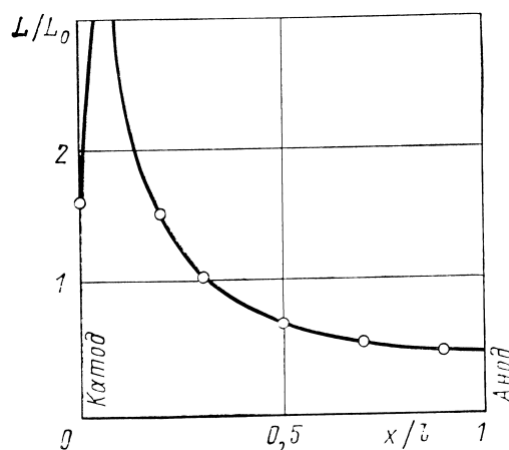


Рис.6.3 – Универсальная кривая распределения яркости вдоль оси разряда для ксеноновых ламп СВД с короткой дугой, работающих на постоянном токе (анод вверху).

По оси абсцисс отложено расстояние между электродами в относительных единицах  $\chi/\ell$ , где  $\chi$  – фактическое расстояние от катода,  $\ell$  – длина дуги. По оси ординат отложена относительная яркость  $L/L_0$ , где  $L_0$  – яркость в условно выбранной точке на расстоянии  $0,3\ell$  от катода. Универсальная кривая может быть аппроксимирована выражением  $L/L_0 \approx 0,38(\chi/\ell)^{-0,8}$ , которое хорошо передаёт ход кривой в интервале  $0,3 \leq \chi/\ell < 1$  и даёт несколько заниженные значения яркости в области  $0,1 \leq \chi/\ell \leq 0,3$ . В области катодного пятна из-за малой точности измерения универсальная кривая не построена. В большинстве случаев это и неважно, так как роль катодного пятна в габаритной яркости из-за его малости невелика.

Распределение яркости поперек канала разряда в любом его сечении, в относительной системе координат, описывается параболической функцией

$$L/L_0 = 1 - 0,5(2a/b_0)^2,$$

где  $a$  – расстояние от оси разряда в поперечной плоскости;  
 $b_0$  – полуширина разряда.

Полу ширина дуги в центре между электродами растёт пропорционально мощности столба:

$$b_0 \approx 0,37P_{ст}^{m},$$

где  $m=2,9\ell/p_{хол}$ , при  $0,5 \leq \ell/p_{хол} < 1$ ;  $m=0,67\ell/p_{хол}$  при  $\ell/p_{хол} > 1$ ;  $p_{хол}$ ,  $10^5$  Па;  $\ell$ , мм.

Зависимость яркости от мощности и расстояния между электродами.

Яркость в центре разряда у ламп с короткой дугой  $L_0 \approx A P_{ст}/\ell^2$ , коэффициент  $A=5,7$  если

$$L_0, 10^7 \text{кд/м}^2, P\text{-кВт}, \ell\text{-см.}$$

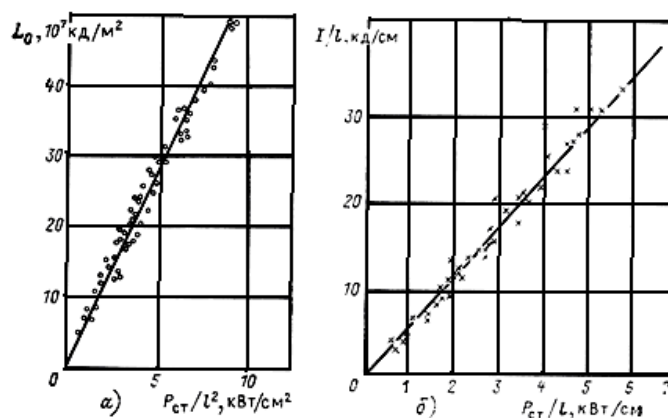


Рис.6.4 – Зависимость яркости в геометрическом центре разряда от отношения  $P_{ст}/l^2$  (а) и удельной силы света от удельной мощности (б) для ксеноновых ламп СВД с короткой дугой постоянного тока.

На рис.6.4. (а) показана зависимость яркости от мощности и расстояния между электродами. Зависимость светового потока и силы света от мощности показаны на рис. 6.4. (б). Экспериментальные результаты вполне удовлетворительно выражаются прямой линией, проходящей практически через начало координат:

$$I_V/I_{эл} \approx 5,7(P_{ст}/l),$$

где  $I_V/l$ , кд/см;  $P_{ст}/l$ , кВт/см.

Распределение силы света в пространстве для ламп с короткой дугой постоянного тока несколько ассиметрично (рис. 6.5).

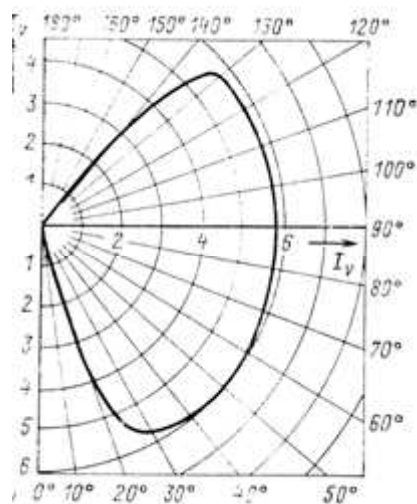


Рис.6.5 – Типичный характер распределения силы света коротко дуговых ксеноновых ламп СВД.

Более сильное экранирование излучения анодом снижает излучение в верхней полусфере. Излучение распространяется в угле от 20-25 до 135-140°.



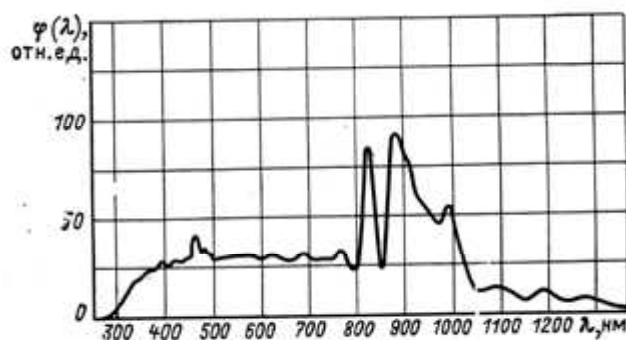


Рис.6.6 – Типичный спектр излучения шаровых короткодуговых ламп СВД (ДКсШ 3000).

Спектр излучения представлен на рис.6.6.

### Разгорание ламп.

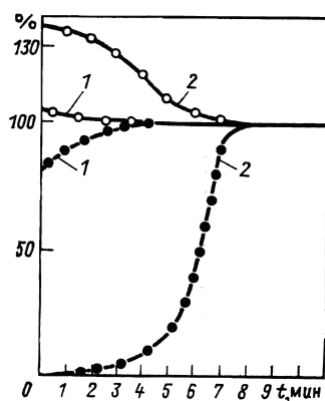


Рис.6.7 – Характеристика разгорания ксеноновой (1) и ртутной (2) ламп СВД с короткой дугой:  
● -сила света; ○ -сила тока.

На рис.6.7. показано изменение характеристик лампы мощностью 120 Вт в процессе разгорания. Период разгорания практически отсутствует; начальная сила света составляет около 80% установившегося значения. Небольшое изменение световых и электрических характеристик в первые минуты после включения объясняется тем, что внутри лампы происходит перераспределение плотности газа, связанное с перераспределением температуры газа.

### Модуляция излучения.

Излучение ксеноновых дуг СВД хорошо модулируется током вплоть до частот в несколько десятков килогерц. При разработке ламп для целей модуляции необходимо принимать специальные меры, чтобы устранить или уменьшить мешающее действие акустического резонанса, собственных магнитных полей и других подобных факторов. Более подробно можно посмотреть в журнале «Светотехника» №4 с.9-14.

Авторы статьи: Абрамян А.А., Агабагян М.М.

### Расчет ксеноновых дуговых ламп в шаровой колбе.

Расчёт этих ламп принципиально не отличается от расчета ртутных шаровых ламп. Методы расчета, применительно к колбам и электродам, отличаются некоторыми коэффициентами. Подробно инженерный метод расчета опубликован в журналах; «Светотехника» 1972г. №6, 1975г. №6 – Расчет характеристик эл. столба, расчет лучистых характеристик столба-1973г. №12, расчет яркости-1975г. №11, расчет мощных ксеноновых ламп-светильников «Светотехника» 1968г. №3. Автор статей Рабинович Г.И.

Современные типы ксеноновых ламп высокой яркости с короткой дугой.

В таблице 6.1. приведены данные некоторых типов ксеноновых ламп высокой яркости с короткой дугой.

Таблица 6.1 – Параметры некоторых типов ксеноновых ламп с короткой дугой.

Тип лампы	Мощность лампы, кВт	Напряжение на лампе, В	Световой поток, кЛм	Яркость разряда, Мкд/м <sup>2</sup>	Расстояние между электродами, мм	Внешний диаметр колбы, мм	Полная длина лампы (наибольшая), мм	Скорость воздушного охлаждения, м/с	Средняя продолжительность горения, ч
ДКсШ200	0,2	20	4	90	2,2	25	149	-	500
ДКсШ200-2	0,2	18	3	-	2,2	26	149	-	500
ДКсШ300	0,3	20	6	-	2,2	26	149	-	750
ДКсШ500	0,5	20	12	200	2,5	31	200	3	400
ДКсШ1000-2	1	22	30	250	3,4	43	260	3	760
ДКсШ2000	2	27	65	400	3,9	52	320	3	1000
ДКсШ3000-3	3	32	105	600	5,5	59	330	5	1250
ДКсШ4000-2	4	30	150	600	6,5	70	428	5	500
ДКсШ6500	6,5	45	325	-	-	65	-480	5	500
ДКсШРБ3000-1*	3	33	100	750	3,7	50	235	} 5-8	500
ДКсШРБ5000-1*	5	40	210	700	5,5	55	235		500
ДКсШРБ10000-1*	10	40	410	1100	7,5	70	255		125
ДКсШЭл500-6	0,5	22	14,5	220	-	40	260	-	2000
ДКсЭл1000-6	1	25	32	250	4,0	44	260	-	1600
ДКсЭл2000-6	2	33	80	350	4,8	52	330	3	2000
ДКсЭл3000-6	3	34	130	770	5,7	66	342	5	1500
ДКсШЭл4000-6	4	35	155	500	7,5	70	410	5-8	800
ДКсШЭл6500-6	6,58	46	325	500	9,0	61	485	5-8	500

Маркировка отечественных ламп с короткой дугой отличается тем, что вместо буквы Т ставят букву Ш – шаровая. Далее следуют буквы, обозначающие конструктивные или иные особенности ламп, например РБ – разборная, Эл-в колбе эллипсоидальной формы и т. п.

Общий вид основных типов ксеноновых коротко дуговых ламп СВД показан на рис. 6.8.

В лампах типа ДКсШ применены цилиндрические фольговые вводы, в лампах типа ДКсШЭл – вводы на переходных стеклах. Мощные лампы типа ДКсШРБ имеют разборную конструкцию электродов и вводов, обеспечивающую водяное охлаждение электродов изнутри.

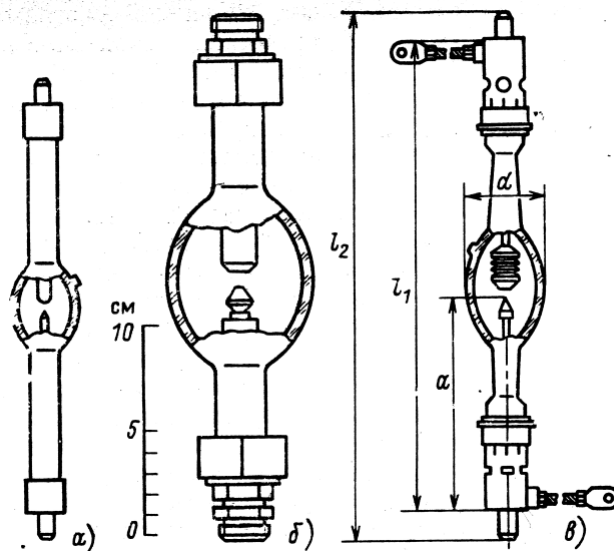


Рис.6.8 - Общий вид ксеноновых ламп с короткой дугой:  
 а - типа ДКсШ от 0,5 до 6,5 кВт; б - типа ДКсШРБ от 3 до 10 кВт;  
 в - типа ДКсШЭл от 1 до 6,5 кВт.

### Включение ламп в сеть.

Питание ламп постоянного тока с короткой дугой может осуществляться от сети постоянного тока через резистор, от генератора постоянного тока с падающей внешней вольтамперной характеристикой и от сети переменного тока через выпрямитель. В последнем случае стабилизацию лучше осуществлять на стороне переменного тока при помощи дросселя. опыты показали, что лампы с напряжением горения от 20 до 40 В. Надежно зажигаются при питающем напряжении не ниже 50-90 В в зависимости от  $r_{Xe}$  и  $l$ . Наиболее рациональные установки питания позволяющие получать низкие напряжения

обычно питаются от сети переменного тока через выпрямитель, имеющий понижающий автотрансформатор с большим магнитным сопротивлением. Питание ламп переменного тока выгодно осуществлять также через понижающий трансформатор с большим магнитным сопротивлением.

Пульсации тока, возникающие при питании ламп через выпрямители без сглаживающих фильтров, приводят к пульсациям световых характеристик и ускоряют разрушение электродов из-за термоусталости вольфрама. Пульсации тока не должны превосходить 8%.

### **Зажигание ламп.**

Зажигание ламп осуществляется при помощи специального пускового зажигающего устройства, которое представляет собой искровой генератор, дающий на зажимы лампы

Импульс высокого напряжения высокой частоты

**Основные области применения** – это кинопроекция цветных и черно-белых фильмов, имитаторы солнечного излучения, установки радиационного нагрева и сварки излучением, фото экспонирование и многочисленные другие применения, где требуются высокие яркости, высокое качество цветопередачи и мгновенное включение.

### **Меры предосторожности.**

Поскольку в ксеноновых лампах СВД и в нерабочем состоянии давление значительно выше атмосферного, на лампы надевают специальный защитный футляр из оргстекла, который разрешается снимать только после установки лампы в закрытой аппаратуре. Кроме того, футляр предохраняет поверхность кварцевого стекла от прикосновения пальцев.

## ТЕМА 7.

### Специальные типы газоразрядных ламп высокой интенсивности.

Ксеноновые лампы с короткой дугой большой мощности.

В связи с развитием исследований космоса, кинопроекционной техники, а также концентраторов лучистой энергии возникла потребность в создании ламп на мощность свыше 7–10 кВт с малым светящимся телом большой яркости.

Создание подобного типа ламп с естественным охлаждением мощностью выше 7 кВт встречало большие трудности, связанные с необходимостью изготовления кварцевых колб большого диаметра, способных выдерживать давления не меньше  $10 \cdot 10^5$  Па, массивных анодов, способных рассеивать от 25 до 40% мощности лампы и, наконец, вакуумно-плотных вводов в кварцевое стекло на силы тока в несколько сот ампер.

Наибольший диаметр кварцевых колб, освоенных в производстве, составляет 100-120мм при толщине стенки 4-5мм. Такие колбы могут выдержать давление  $(10-20) \cdot 10^5$  Па и рассеивать при нагреве до  $850^\circ\text{C}$  в условиях естественного охлаждения тепловую мощность порядка 1, 5-2кВт. Приняв коэффициент излучения столба поглощенного колбой  $\alpha_{\text{эф}} \approx 0, 25$ , получим, что в колбах такого диаметра могут быть изготовлены лампы на предельные мощности порядка 8-10кВт.

Эксперименты показывают, что в лампах ДКсШ анод рассеивает от 25 до 40% мощности. В лампах с естественным охлаждением эта мощность рассеивается за счет излучения раскаленного анода, отводится по вводу и передается окружающему газу, при этом часть затрачивается на нагрев колбы. Для того чтобы рассеять выделяющуюся на аноде 10кВт лампы мощность, требуется вольфрамовый анод сложной формы диаметром около 40мм. Изготовление и вакуумная обработка таких анодов требует больших затрат. Кроме того масса анода настолько велика, что это снижает механическую прочность лампы. Вводы для лампы 10кВт должны пропускать ток 200-250А. Они ещё могут быть изготовлены с естественным охлаждением на переходных стеклах или в форме дисковых или чашечных вводов.

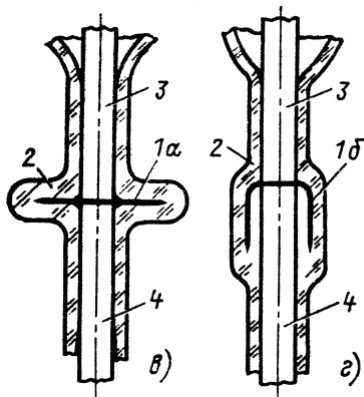


Рис.7.1- Вводы в кварцевое стекло:

в - дисковый ввод; г - чашечный ввод.

1а - диск из молибденовой фольги; 1б - чашечка из молибденовой жести с утончающимися краями; 2 - кварцевое стекло; 3 - стержень из Мо или W (к электроду).

В них молибденовая фольга, выполнена в виде диска или чашечки с острыми краями, создаёт вакуумное уплотнение, но не является токоведущей частью. Токоведущей частью является вольфрамовые или молибденовые стержни, диаметр которых может быть взят достаточно большим. Технологически дисковые и чашечные вводы сложно изготавливать, поэтому они широкого распространения не получили. Таким образом, предельная мощность подобных ламп с естественным охлаждением составляет около 10кВт. Дальнейшее увеличение мощности связано с введением принудительного охлаждения. При этом главную трудность составляет охлаждение электродов, поскольку для охлаждения вводов и колбы можно применить внешнее охлаждение.

В.П. Сасоровым был разработан вакуумно-плотный ввод с водяным охлаждением электродов. Разборной ввод с водяным охлаждением позволяет пропускать практически любые токи, а водяное охлаждение позволяет уменьшить не только размеры электродов, но и кварцевой колбы.

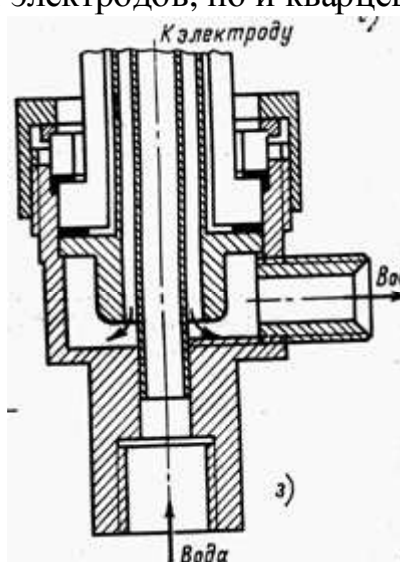


Рис.7.2 – Разборной ввод с водяным охлаждением электрода.

Так, например, в лампах мощностью 5кВт, 2, 5кВт идет на нагрев электродов, колбы и вводов, то на лампах той же мощности вода уносит 1, 7кВт. Поэтому тепловая нагрузка на колбу падает и её можно делать меньше, а значит дешевле. Сейчас применяют водяное охлаждение в лампах, начиная с мощности 3кВт. При этом диаметр колбы лампы с водяным охлаждением 10кВт равен диаметру колбы лампы с естественным охлаждением 4кВт.-70мм.

Но даже применяя охлаждаемые электроды, создание ламп более 20кВт практически не возможно, для этого требуются колбы диаметром более 150мм. С большой толщиной стенки. Дальнейшее повышение мощности решено Г.И. Рабиновичем, предложившим разборную лампу с внутренней эллипсоидной отражающей поверхностью и купольным выходным окном. Лампа-светильник на 55кВт. В этой лампе электроды, металлический корпус и выходное окно охлаждаются водой. Зажигание лампы осуществляется замыканием электродов. Купольное окно расположено выпуклостью вовнутрь, поэтому кварц

испытывает только сжимающие напряжения, которые в 20 раз больше, чем на растяжение и предел прочности как у стали.

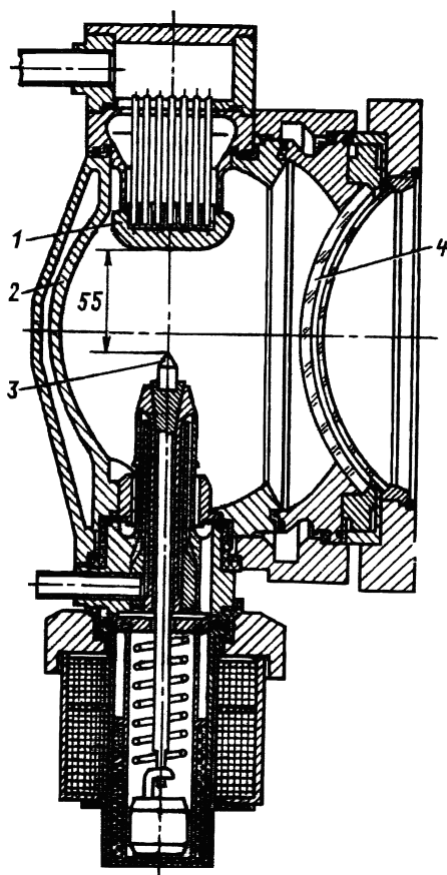


Рис.7.3 – Конструкция ксеноновой лампы-светильника большой мощности (ДКсРМ 55000):

- 1** – водоохлаждаемый анод; **2** – металлический зеркализированный корпус;  
**3** – подвижный катод; **4** – охлаждаемое водой купольное окно из кварцевого стекла.