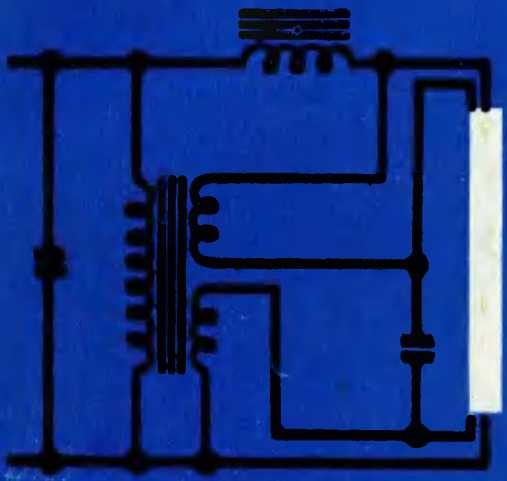
Библиотека электромонтера



М. И. ФУГЕНФИРОВ

пускорегулирующая аппаратура для люминесцентных ламп

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 308

М. И. ФУГЕНФИРОВ

ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Издание 2-е, переработанное и дополненное

«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1970

6П2.19
Ф 94
УДК 621.327.9.077

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Большам Я. М., Розанов С. П., Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Соколов Б. А., Устинов П. И.

Фугенфиров М. И.

Ф 94 Пускорегулирующая аппаратура для люминесцентных ламп, изд. 2-е, перераб. и доп., М., «Энергия», 1971

120 с. с илл. (Б-ка электромонтера. Вып. 308).

В брошюре дано описание получивших наибольшее распространение стартерных и бесстартерных схем зажигания люминесцентных ламп в сетях с промышленной, повышенной частотой, методов регулирования их яркости, а также конструкции соответствующих пускорегулирующих аппаратов.

Приводятся необходимые данные по эксплуатации пускорегулирующей аппаратуры, описаны встречающиеся на практике неисправности аппаратов и способы их устранения.

Брошюра рассчитана на электромонтеров и технический персонал, обслуживающих электроосветительные установки с люминесцентными лампами.

3-3-11
127-70

6П2.19

Фугенфиров Моисей Исаакович

Пускорегулирующая аппаратура для люминесцентных ламп

Редактор *И. П. Березина*
Обложка художника *А. А. Иванова*
Технический редактор *О. Д. Кузнецова* Корректор *Н. В. Лобанова*

Сдано в набор 31/VIII 1970 г. Подписано к печати 16/XII 1970 г. Т-18724
Формат 84×108 1/32 Бумага типографская № 1
Усл. печ. л. 6,3 Уч.-изд. л. 6,58
Тираж 20 000 экз. Цена 26 коп. Зак. 1359

Издательство „Энергия". Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР,
Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Программа Коммунистической партии Советского Союза, определяя задачи построения коммунистического общества в СССР, указывает, в частности, что необходимо «... поднять производительность труда в промышленности в течение 10 лет более чем в два раза, а за 20 лет — в четыре, четыре с половиной раза»... и далее ...«Всемерное оздоровление и облегчение условий труда — одна из важных задач подъема народного благосостояния». Широкое и все возрастающее применение в промышленности, на транспорте, в быту, в административных и общественных зданиях экономического люминесцентного освещения — один из способов решения поставленных задач.

В последние годы количество осветительных установок, где в качестве источников света используются люминесцентные лампы, увеличивается. При этом в цехах промышленных предприятий нередко устанавливается несколько тысяч люминесцентных ламп.

Осветительные установки с люминесцентными лампами значительно сложнее установок с лампами накаливания. Это связано с тем, что люминесцентная лампа может быть включена в электрическую сеть только с помощью пускорегулирующего аппарата (ПРА), который должен быть правильно выбран. Имеющиеся случаи неудовлетворительной работы ламп главным образом объясняются неправильным выбором пускорегулирующего аппарата, а также несоблюдением правил эксплуатации и неполадками в работе аппаратов включения.

В различных схемах включения одна и та же лампа может иметь разный срок службы. На срок службы ламп и их световые и электрические параметры влияют режим включения, величина напряжения в сети, температура и влажность окружающей среды.

При выборе способа включения ламп приходится учитывать факторы, оказывающие влияние на качество осветительных установок, такие как величина пульсации светового потока, уровень радиопомех и др. Все это вместе взятое показывает, что эксплуатация установок с люминесцентными лампами требует от обслуживающего персонала четкого понимания физических процессов, протекающих в комплекте лампы — ПРА.

1. РАБОТА ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ И ВКЛЮЧЕНИЕ ЕЕ В СЕТЬ

Люминесцентные лампы относятся к группе газоразрядных источников света. Принцип работы и их устройство подробно рассмотрены в ряде пособий [Л. 1—3], поэтому мы уделим внимание лишь тем особенностям их работы и конструкции, которые определяют выбор способа включения этих ламп в сеть.

Конструктивно люминесцентная лампа представляет собой стеклянную трубку, по концам которой впаяны ножки с электродами. Внутренняя поверхность трубки покрыта слоем люминофора. В процессе изготовления лампы все ее элементы обезгаживаются путем соответствующей температурной обработки, и производится тщательная откачка для удаления из лампы выделившихся газов и атмосферного воздуха. По достижении соответствующей степени вакуума лампа наполняется дозированным количеством ртути и инертным газом. В качестве инертного газа обычно используется аргон с давлением около 3 *мм рт. ст.* В некоторых типах ламп вместо аргона могут быть применены другие инертные газы или их смеси. Инертный газ уменьшает распыление электродов при работе лампы и облегчает процесс ее зажигания. Кроме того, инертный газ оказывает влияние на процесс излучения разряда и приэлектродные явления, наблюдаемые при горении лампы.

Как известно, в основе принципа действия люминесцентных ламп лежит явление газового разряда в ртутных парах низкого давления, при котором в результате прохождения электрического тока через пары создается ультрафиолетовое излучение, преобразующееся с помощью люминофора в видимый свет. Следовательно, для приведения в действие лампы и поддержания ее в работе необходимо зажечь в лампе газовый разряд, обеспечить

такие его параметры, чтобы лампа обладала наиболее эффективными характеристиками, и создать условия для поддержания в течение всего периода работы лампы этих параметров на заданном уровне. Исходя из этих основных требований, ряда дополнительных, диктуемых условиями эксплуатации, и других, строится электрическая схема включения лампы в сеть.

Зажигание разряда. Процесс зажигания газового разряда в лампе сводится к созданию таких условий, когда через лампу начнет проходить электрический ток, т. е. между электродами лампы будет наблюдаться перемещение электрических зарядов. В обычном состоянии междуэлектродное пространство лампы, заполненное газом или парами металлов, является хорошим изолятором. Однако если повышать приложенное к электродам напряжение, то под влиянием электрического поля, создаваемого при этом в лампе, отдельные заряженные частицы, всегда имеющиеся в междуэлектродном пространстве, начнут перемещаться вдоль электрического поля. Приобретаемая заряженными частицами дополнительная энергия за счет возросшего электрического поля может оказаться достаточной, чтобы при столкновении этих частиц с нейтральными атомами и молекулами вызвать их ионизацию, т. е. появление новых заряженных частиц. Процесс появления новых заряженных частиц может развиваться лавинообразно, что приведет в конечном счете к установлению между электродами лампы электрического тока, т. е. газового разряда. Процесс зажигания газового разряда связан с рядом сложных физических явлений, протекающих на электродах лампы и в междуэлектродном пространстве.

В развитии газового разряда можно выделить несколько стадий или форм. Из сказанного следует, что начальной или первой стадией газового разряда является пробой междуэлектродного пространства, когда между электродами лампы появляется электрический ток. *Тлеющий разряд* образуется в процессе дальнейшего развития газового разряда и характеризуется появлением неравномерного свечения газа, заполняющего лампу, малой величиной тока и неравномерным распределением электрического поля между электродами с резко выраженным большим падением напряжения вблизи катода. Благодаря большой напряженности электрического поля вблизи катода выход электронов из холодного катода

обусловливается главным образом наличием этого поля. Процесс вырывания электронов из катода за счет сильного электрического поля носит название автоэлектронной эмиссии. Тлеющий разряд поддерживается в лампе электронами, которые эмиттируются из катода при бомбардировке его положительными ионами, образованными в междуэлектродном пространстве в процессе ионизации. Эта форма газового разряда оказывает сильное влияние на срок службы люминесцентных ламп, поэтому ниже к этому вопросу нам придется еще раз вернуться. При дальнейшем возрастании величины тока через лампу происходит скачкообразный переход к новой форме газового разряда, называемой *дуговым разрядом.* Переход от тлеющего разряда к дуговому обусловлен тем, что с увеличением напряжения на лампе растет число электронов, возникающих в результате ионизации в междуэлектродном пространстве. Температура катода начинает увеличиваться и появляется новый механизм образования вторичных электронов — термоэлектронная эмиссия. Нагретый катод становится источником эмиссии электронов за счет подведенной к нему тепловой энергии, усиливающей хаотическое движение свободных электронов в теле катода. Часть электронов, получивших достаточную энергию для преодоления удерживающих их на поверхности катода сил, покидает его и оказывается в междуэлектродном пространстве. Рост температуры катода продолжается до тех пор, пока термоэлектронная эмиссия вольфрамового катода становится сравнимой с электронной эмиссией, вызываемой бомбардировкой катода положительными ионами. Таким образом энергия, выделяемая на катоде, приводит к резкому увеличению эмиссии электронов. На катоде образуется катодное пятно — небольшой участок катода, имеющий более высокую температуру, чем остальная часть катода, являющийся главным источником электронов и образующий как бы основание столба разряда. Катодное падение потенциала при этом сильно уменьшается, ток через лампу увеличивается и разряд переходит в дугу. При этом почти все пространство между электродами заполняет светящаяся часть разряда, называемого положительным столбом и представляющего собой газ, состоящий из смеси нейтральных атомов, электронов, ионов и возбужденных атомов. Все эти частицы находятся в непрерывном хаотическом движении.

Описанный выше процесс зажигания газового разряда показывает, что для возникновения той или иной формы разряда к лампе должно быть приложено определенное минимальное напряжение. Это минимальное напряжение, при котором начинается процесс газового разряда, называется **напряжением зажигания**. Оно зависит в общем случае от рода наполняющего лампу газа, его давления, от формы электродов и расстояния между ними, материала, из которого они изготовлены, и др.

Процесс зажигания газового разряда в люминесцентных лампах имеет некоторые особенности. Так как люминесцентная лампа представляет собой длинную трубку, то для возникновения в ней разряда необходимо, чтобы было создано достаточно сильное продольное электрическое поле по всей длине трубки, обеспечивающее ионизацию нейтральных атомов газа во всем междуэлектродном пространстве. Процесс зажигания разряда протекает следующим образом. При подаче на лампу напряжения в начале на одном из электродов происходит пробой газового промежутка между этим электродом и ближайшим участком стенки трубки. Возникает небольшой разряд со слабым свечением газа. Стенка трубки приобретает соответствующий потенциал. Если к электродам лампы приложено достаточное по величине напряжение, то процесс ионизации начнет распространяться вдоль трубки, последовательно заряжая все новые участки стенки трубки. Скорость распространения процесса ионизации вдоль трубки зависит от скорости нарастания питающего напряжения. Когда процесс ионизации распространится вдоль всей трубки и достигнет противоположного электрода, то возникает разряд между двумя электродами лампы. Таким образом, в начальной стадии разряд имеет характер одноэлектродного разряда, т. е. разряд протекает между одним электродом лампы и стенкой трубки, затем он переходит в тлеющий разряд и далее в дуговой. Напряжение зажигания люминесцентной лампы зависит от длины и диаметра трубки. Оно увеличивается с ростом длины лампы и уменьшением диаметра трубки.

Если рассмотреть зависимость напряжения на электродах лампы от величины тока, проходящего через лампу при дуговом разряде, то получим кривую, показанную на рис. 1. Эта зависимость носит название **вольтамперной** характеристики. Как видно из рассмотрения

этой характеристики, она имеет падающий характер, т. е. с ростом тока через лампу напряжение на ее электродах снижается. Такой характер зависимости между напряжением и током через лампу приводит к неустойчивости разряда. Действительно, если в силу каких-либо причин напряжение на лампе снизится на некоторую величину (точки A и A' на рис. 1), то ток через лампу увеличится, а это приведет к еще большему снижению напряжения и с соответствующим увеличением тока. Процесс будет развиваться в этом направлении до тех пор, пока лампа не выйдет из строя. Следовательно, необходимо применить искусственные меры для того, чтобы добиться стабилизации или устойчивости горения разряда. Такой мерой является последовательное включение с лампой сопротивления, называемого балластом. Из этого положения можно сделать два вывода. Во-первых, газовый разряд не имеет постоянного электрического сопротивления, оно изменяется вместе с изменением тока в цепи. Во-вторых, для ограничения величины тока через лампу последовательно с ней необходимо включить балластное сопротивление, которое и будет обусловливать величину установившегося тока в цепи.

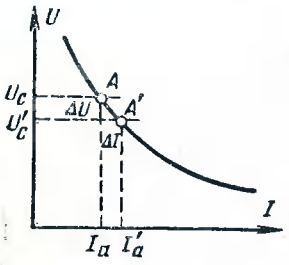


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика люминесцентной лампы.

Процессы на электродах люминесцентных ламп. Явления, протекающие на электродах и в приэлектродных частях разряда в период пуска лампы и ее горения, оказывают большое влияние на характеристики лампы и ее эффективность. Кроме того, знание этих процессов позволяет понять те требования, которые предъявляются к схемам включения ламп. Рассмотрим вкратце основные моменты работы электродов люминесцентных ламп.

Люминесцентная лампа имеет два электрода. При работе лампы на постоянном токе один электрод играет роль катода, а второй — анода. При питании лампы переменным током электроды попеременно выполняют роль катода и анода. Конструктивно электрод люминесцентной лампы представляет собой биспираль из вольфрамовой проволоки, покрытой слоем оксида щелочноземельных металлов (смесь бария, кальция и стронция). В не-

которых случаях в настоящее время используется так называемая триспиральная конструкция электрода, конструктивно напоминающего «гитарную струну». Такая конструкция электрода позволяет разместить на нем большое количество оксида и улучшить сцепление слоя оксида с вольфрамовым основанием электрода.

Основная задача катода — обеспечить поступление необходимого количества электронов из катода в междуэлектродное пространство для поддержания газового разряда. Анод является приемником электронов, направляющихся из междуэлектродного пространства в электрическую цепь.

Необходимая эмиссия электронов из катода, как было показано выше, может поддерживаться за счет двух механизмов: термоэлектронной эмиссии и автоэлектронной эмиссии. Для создания необходимых условий, обеспечивающих термоэлектронную эмиссию электронов из катора, он должен быть нагрет до соответствующей температуры. Этот нагрев может быть осуществлен двумя способами. К катоду может быть подключен посторонний источник питания, подающий требуемую для его нагрева энергию. Такие катоды называют с независимым накалом. Второй способ — нагрев катода за счет энергии, выделяющейся в процессе дугового разряда. В этом случае катоды называются самокалящимися. В люминесцентных лампах используются самокалящиеся катоды.

С точки зрения влияния на такую важную характеристику лампы, как ее срок службы, решающее значение имеют явления, происходящие на электродах во время зажигания и развития разряда, т. е. в период пуска лампы. Эти явления сводятся к следующему. При бомбардировке катода положительными ионами с энергией выше определенной предельной величины наблюдается распыление оксида. Распыление оксида резко уменьшает его количество на катоде, а продолжительность работы лампы определяется запасом оксида на электроде и скоростью его расходования. Для увеличения срока службы лампы необходимо стремиться максимально сокращать возможность распыления оксида. Распыление оксида происходит главным образом при тлеющем разряде, когда основную роль играет автоэлектронная эмиссия электронов. Явление распыления оксида может также наблюдаться в случае, если при пуске лампы на нее бу-

дет подано достаточно высокое напряжение, обеспечивающее зажигание в ней разряда, а электроды лампы при этом имеют температуру ниже необходимой для начала термоэлектронной эмиссии. При таком режиме включения лампы ее катод подвергается усиленной бомбардировке ионами, что вызовет резкое распыление оксида. Длительность этого процесса зависит от величины поданного на лампу напряжения и чем оно меньше, тем более длителен этот процесс. Подобный режим включения лампы называют холодным зажиганием.

Из сказанного выше напрашивается естественный практический вывод о необходимости обеспечения достаточной температурной подготовки электрода перед пуском лампы для сохранения на требуемом уровне ее срока службы. Под температурной подготовкой понимается предварительный подогрев электродов ламп. Достаточность такой подготовки определяется не температурой электрода, которую он приобретает в результате того или иного режима подогрева, а температурой, которую он должен иметь к моменту пробоя газоразрядного промежутка. Температура электродов, таким образом, определяет характер процессов, протекающих на них при зажигании лампы.

Проведенные исследования пусковых процессов на электродах ламп показали, что отрезок времени с момента начала зажигания разряда, в течение которого происходит основное распыление оксида, лежит в пределах 0,2—3 *сек*. При одной и той же величине установившегося тока разряда распыление оксида с катода будет тем больше, чем меньше предварительный ток подогрева. Однако при одинаковой величине тока предварительного подогрева распыление оксида будет больше в том случае, когда меньше ток лампы, устанавливающейся в рабочем режиме. Исходя из полученных данных, было установлено, что оптимальная температура катода, которую нужно обеспечить к моменту зажигания разряда, чтобы свести к минимуму разрушение оксида в пусковых режимах, лежит в диапазоне 1 200—1 300° К.

Другим явлением, наблюдаемым на катоде и оказывающим влияние на срок службы ламп, является тепловое испарение оксида под влиянием перегрева электродов в целом или его отдельных частей.

Распыление и испарение оксида катодов происходит не только в период пуска лампы, но оно также имеет

место при горении разряда, т. е. в рабочем режиме лампы. Однако особенно сильно эти процессы проявляются в пусковой период, когда формируется газовый разряд.

Исследование процесса пуска лампы показывает, что переходу от тлеющего разряда в дуговой, когда он симметрично горит между двумя электродами, предшествует стадия однополупериодного или несимметричного дугового разряда. Однополупериодный разряд характеризуется тем, что один из электродов лампы продолжает работать в режиме автоэлектронной эмиссии и на нем имеет место тлеющий разряд, а другой электрод успевает нагреться до температуры, достаточной для начала термоэлектронной эмиссии, что обеспечивает возникновение на этом электроде дугового разряда. Лампа, питаемая переменным током, в этой стадии пускового периода работает как бы в выпрямительном режиме, т. е. имеет не одинаковую проводимость в разных направлениях, при этом величина тока, проходящего через лампу, может превышать ее номинальный рабочий ток. Такое повышение тока увеличивает нагрузку на холодный электрод, и если он является катодом, то это вызывает усиленное испарение оксида, а также может служить причиной появления искрения на электроде. Длительность стадии однополупериодного разряда уменьшается с увеличением тока в рабочем режиме лампы.

Чем больше по времени отдельные стадии переходного периода, тем сильнее проявляется их разрушающее действие на электроды ламп. Поэтому при выборе схемы зажигания лампы стремятся создать такие пусковые режимы лампы, при которых длительность переходных режимов была бы наименьшей.

Работа электродов ламп в рабочем режиме. Остановимся теперь на работе электродов ламп при установившемся режиме, когда в лампе возникает симметричный дуговой разряд. В зависимости от свойств катода и условий горения разряда дуга на катоде может принимать две различные формы.

Если температура катода недостаточна для создания электронной эмиссии со всей его поверхности, обеспечивающей полностью рабочий ток дуги, то разряд стягивается, как мы видели, на катоде в яркое катодное пятно и температура в этом месте оказывается выше, чем на остальной части катода. Вследствие неравномерности

распределения потенциала по катоду пятно располагается ближе к тому концу катода, к которому подведено напряжение сети. Одним из основных параметров катодного пятна является его температура. От нее в значительной степени зависят скорости различных процессов, протекающих на катоде. Так как катодное пятно становится основным источником электронов, необходимых для поддержания разряда, то при работе лампы оксидное покрытие расходуется главным образом в районе катодного пятна. По мере израсходования оксида, пятно постепенно перемещается по катоду, переходя с витка на виток вольфрамовой биспирали. Когда на одном из электродов будет израсходована большая часть оксида, лампа перестанет работать. При разработке схем включения ламп следует учитывать не только пусковые режимы лампы, но также и условия для создания оптимального рабочего режима ее работы.

В том случае, когда температура катода достаточна для обеспечения электронной эмиссии, полностью покрывающей рабочий ток дуги, разряд располагается по всей поверхности катода, и катодное пятно отсутствует.

Переход от одной формы разряда к другой может быть произведен при изменении режима нагрева катода, если его свойства допускают существование обеих форм разряда, при этом переход от одной формы к другой происходит скачкообразно.

Напряжение зажигания и факторы, определяющие его величину. Возможность зажигания люминесцентной лампы определяется двумя факторами: доведением температуры электродов до величины, обеспечивающей необходимую термоэлектронную эмиссию, и подачей на лампу требуемого напряжения, определяемого условиями возникновения в ней разряда. Особенностью работы люминесцентных ламп является то, что напряжение зажигания в них может значительно превышать рабочее напряжение, устанавливающееся на лампе после зажигания разряда. Повышенное напряжение зажигания в пусковой период создает затруднения при разработке схем включения ламп в сеть и соответствующей аппаратуры для осуществления их пуска. Выше были указаны факторы, влияющие на величину напряжения зажигания. Применительно к люминесцентным лампам этот вопрос требует уточнения.

Зависимость напряжения зажигания от температуры электродов. Если перед подачей на лампу зажигающего напряжения предварительно нагреть электроды, то это может существенно снизить величину напряжения зажигания. На рис. 2. *а* показана зависимость напряжения

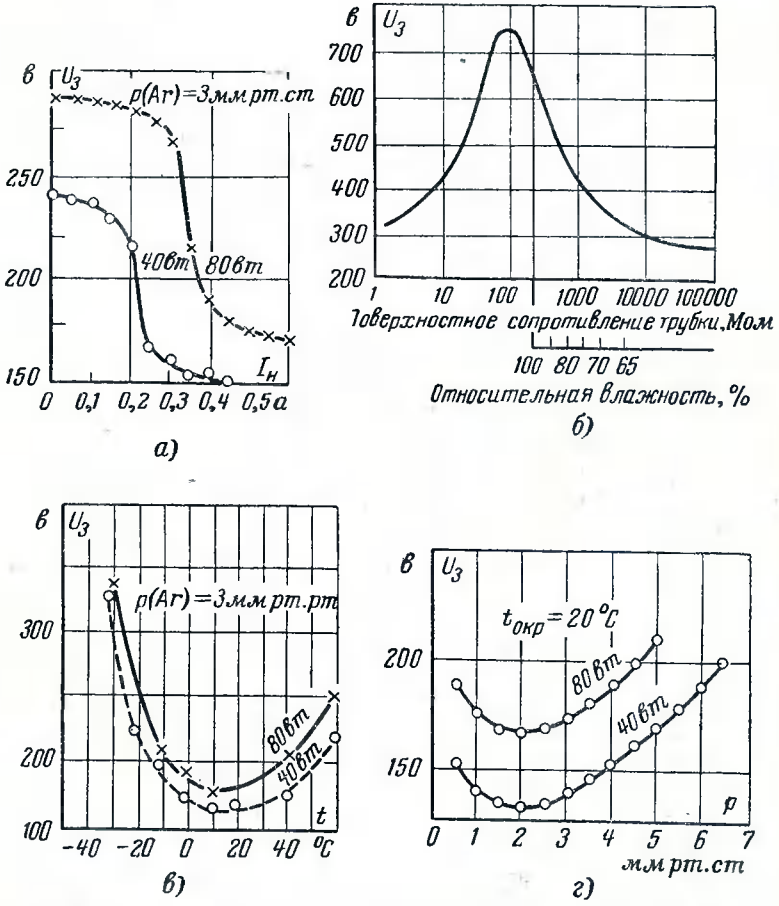


Рис. 2. Зависимость напряжения зажигания люминесцентной лампы от различных факторов.

а — от тока накала электродов; *б* — от влажности воздуха; *в* — от окружающей температуры; *г* — от давления аргона.

зажигания ламп мощностью 40 и 80 *вт* от тока накала электродов, из которой видно, насколько эффективен предварительный накал электродов.

Повышенная относительная влажность окружающей среды свыше 65—70% приводит к образованию на поверхности трубки проводящей пленки с высоким сопротивлением за счет частичного растворения солей стекла атмосферной влагой. Снижение поверхностного сопротивления до величины порядка 100 *Мом* ведет к заметному повышению напряжения зажигания лампы. Такая величина сопротивления соответствует относительной влажности 80—100% (рис. 2,*б*). Для исключения влияния влажности на напряжение зажигания ламп на поверхность трубки наносят проводящую полосу либо трубка покрывается водоотталкивающей пленкой из кремнийорганических соединений.

Температура окружающей среды оказывает влияние на напряжение зажигания лампы. Оно имеет минимум при температуре около 10—20° С (рис. 2,*в*). С понижением температуры процесс превращения ртути в пары в лампе замедляется и число атомов ртути в газе становится недостаточным для обеспечения начала разряда. Нужен дополнительный источник свободных электрических зарядов. Таким источником могут стать только атомы наполняющего трубку газа — аргона, но напряжение, при котором начинается ионизация атомов аргона, на 50% выше, чем соответствующее напряжение для атомов ртути. Следовательно, при понижении окружающей температуры для зажигания лампы требуется более высокое напряжение. На практике в связи с этим приходится принимать ряд мер, способствующих облегчению зажигания ламп в этих условиях. Эти меры сводятся к созданию различных способов утепления ламп путем помещения их в защитные колпаки либо установке для зажигания ламп специальных аппаратов, создающих повышенное напряжение зажигания. При высоких окружающих температурах количество атомов ртути велико и значительная доля энергии электронов затрачивается на возбуждение атомов ртути, поэтому требуется подведение к лампе дополнительной энергии, что также приводит к повышению напряжения зажигания ламп.

На рис. 2,*г* показана *зависимость напряжения зажигания от давления аргона,* наполняющего лампу. Как видно из этих кривых, минимум напряжения зажигания будет при давлении аргона около 2 *мм рт. ст.*

Устройством *проводящей полосы,* расположенной, как правило, на наружной поверхности трубки и соеди-

ненной с одним из электродов через защитное сопротивление, можно значительно снизить напряжение зажигания лампы. Вместо проводящей металлической полосы можно применить прозрачное проводящее покрытие, которое наносится на поверхность готовой трубки либо создается в процессе ее изготовления. Наличие проводящей полосы на лампе искажает электрическое поле возникающее в лампе при подаче на нее напряжения, увеличивая его напряженность у одного из электродов, не соединенного с полосой. Это приводит к облегчению пробоя между этим электродом и стенкой трубки. Таким образом, в начальный период зажигания лампы проводящая полоса как бы уменьшает расстояние между электродами лампы, поэтому необходимое напряжение для возникновения первоначального разряда меньше, чем при отсутствии проводящей полосы.

Как было показано выше, напряжение зажигания ламп не остается величиной постоянной и изменяется в довольно широких пределах в зависимости от внутренних факторов ламп и наружных условий их эксплуатации. К этому следует добавить, что в силу ряда технологических причин при изготовлении ламп напряжение зажигания от лампы к лампе имеет различное значение. Поэтому, строго говоря, зависимости, показанные на рис. 2, следует рассматривать как некоторые средние значения для группы ламп, работающих в данных условиях, и было бы правильнее изображать эти зависимости не в виде кривой, а в виде области — зоны вероятных зажиганий ламп при тех или иных условиях эксплуатации.

Работа люминесцентных ламп на переменном токе. При включении люминесцентной лампы в сеть переменного тока на ее электроды будет подано напряжение, периодически изменяющееся по величине и направлению. Поэтому каждые полпериода изменяется полярность электродов и в каждый полупериод происходят зажигание и погасание разряда в лампе. В соответствии с этим излучение лампы, ее световой лоток будет следовать за изменением тока в лампе, возникая в начале каждого полупериода и прекращаясь в конце его. Следовательно, световой поток лампы будет изменяться — пульсировать с двойной частотой по отношению к частоте питающего тока. В люминесцентных лампах некоторое благоприятное влияние на пульсацию свето-

вого потока оказывает явление послесвечения люминофоров, состоящее в том, что в течение некоторого времени после прекращения их облучения ультрафиолетовым излучением они продолжают излучать видимый свет. Длительность послесвечения зависит от типа люминофора, поэтому она различна для разного типа ламп. В результате описанного явления пульсация светового потока ламп несколько ослабляется. При освещении двужущихся или вращающихся предметов пульсирующим световым потоком появляется стробоскопический эффект, связанный с искажением зрительного восприятия. Если, например, освещать таким пульсирующим светом вращающееся колесо, то при равенстве или краткости частоты пульсации с угловой скоростью вращения колеса оно будет казаться неподвижным, при меньшей частоте зрительно вращение колеса будет восприниматься в обратную сторону по сравнению с действительным направлением вращения. Такой обман зрения опасен при работе с движущимися предметами. Кроме того, установлено, что пульсация светового потока вызывает повышенное утомление зрительного аппарата и влияет на эффективность зрительной работы. Поэтому в осветительных установках необходимо принимать меры к снижению пульсации светового потока, что должно быть учтено при разработке схем включения ламп.

При работе лампы для ограничения тока в цепи необходимо последовательно с ней включить балластное сопротивление. В качестве такого балластного сопротивления могут быть использованы активное сопротивление, индуктивность, емкость или их комбинация. Рассмотрим работу лампы при различных типах балласта.

Работа лампы с активным сопротивлением. На рис. 3,*а* показана схема включения лампы, а на рис. 4,*а* приведены кривые, показывающие изменения во времени мгновенных значений напряжения сети, напряжения на лампе, тока в цепи и светового потока лампы. Когда в положительный полупериод напряжение питающей сети, возрастая, достигнет величины напряжения перезажигания, в лампе зажжется разряд. После зажигания разряда напряжение на лампе начнет снижаться до величины напряжения горения и в течение всего времени горения разряда оно остается почти постоянным. Когда напряжение в питающей сети

уменьшится настолько, что станет меньше, чем требуется для поддержания в лампе разряда, он прекратится. Разряд зажжется вновь в следующий отрицательный полупериод после достижения напряжением сети величины напряжения перезажигания и далее процесс будет протекать в таком же порядке, как и в положительный полупериод. Следовательно, за время одного полного цикла изменения приложенного к лампе напряжения в ней дважды повторяется процесс зажигания и погасания разряда, и через лампу при этом проходит переменный ток.

В начале и конце каждого полупериода, когда разряд в лампе не горит, появляются соответственно на-

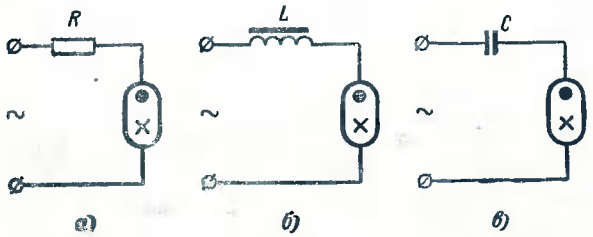


Рис. 3. Способы стабилизации газового разряда.
а — активным сопротивлением; *б* — индуктивным сопротивлением; *в* — емкостью.

чальная $\psi_з$ и конечная $\psi_п$ паузы тока. Длительность начальной и конечной пауз тока зависит от величины напряжения сети. С увеличением скорости нарастания напряжения на лампе уменьшается величина напряжения зажигания и одновременно сокращается длительность начальной и конечной пауз тока. Это связано со следующими явлениями, протекающими в лампе в процессе ее перезажигания. Если рассмотреть ход изменения напряжения на лампе (рис. 4,*а*), то в каждые полпериода в момент зажигания разряда на кривой напряжения на лампе можно видеть пик напряжения, называемый пиком перезажигания. Появление этих пиков перезажигания связано с тем, что после погасания разряда в столбе дуги происходит процесс деионизации, т. е. атомы, ионизированные в результате столкновения с электронами, притягивают к себе свободные электроны и превращаются в нейтральные атомы. Для того чтобы вновь зажечь разряд, но в обратном направлении, не-

обходимо затратить энергию на восстановление свободных зарядов и нагрев электрода в районе катодного пятна. Чем меньше длительность пауз тока, тем в меньшей степени произойдет деионизация атомов и остывание электродов, следовательно, тем меньше потребуется затратить энергии на зажигание разряда. Со-

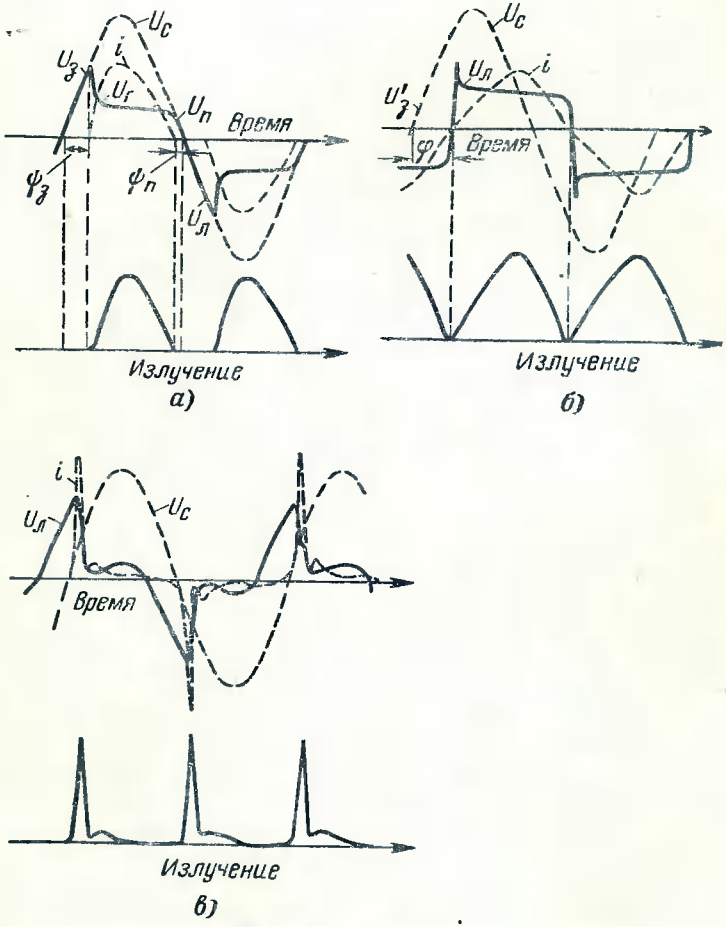


Рис. 4. Кривые изменения напряжения питающей сети, напряжения на лампе, силы тока и излучения при работе люминесцентной лампы в зависимости от характера балласта.

$U'_з$ — напряжение перезажигания; $U_г$ — напряжение горения; $U_п$ — напряжение потухания; $\psi_з$ — начальная пауза тока; $\psi_п$ — конечная пауза тока; φ — сдвиг фаз между напряжением питания и током.

ответственно при этом будет меньше пик перезажигания. Большая величина пиков перезажигания указывает на наличие большого околокатодного падения напряжения и связанной с ним усиленной бомбардировки катода положительными ионами, что свидетельствует об усиленном разрушении электродов и сокращении срока службы лампы.

Стабилизация разряда одним активным сопротивлением имеет значительные недостатки. Наличие пауз тока приводит к снижению срока службы электродов и лампы, искажает форму кривой тока через лампы, усиливает стробоскопический эффект, создаваемый лампами, так как появление темновых пауз увеличивает пульсацию светового потока. Этот способ стабилизации разряда также не экономичен и с точки зрения потерь энергии в балласте. Действительно, напряжение горения лампы составляет примерно половину напряжения сети. Значит, в установившемся режиме около 50% напряжения сети падает на балластном сопротивлении. Если подсчитать в этих условиях потери мощности в балласте, то они окажутся примерно равными мощности лампы. Поэтому на практике стабилизация разряда активным сопротивлением используется редко и только в тех случаях, когда это диктуется специальными условиями (например, при постоянном токе).

Работа лампы с индуктивным сопротивлением. На рис. 3,*б* приведена схема включения лампы, а на рис. 4,*б* показаны соответствующие кривые изменения напряжения сети, напряжения на лампе, тока лампы и ее светового потока. В качестве индуктивного сопротивления обычно используется катушка со стальным сердечником, называемая дросселем. Введение в цепь переменного тока индуктивности приводит к сдвигу по фазе между напряжением и током в сети. Ток отстает от напряжения на некоторый угол φ, который определяется соотношением между индуктивным и активным сопротивлениями дросселя и искажением, вносимым лампой вследствие нелинейности ее сопротивления. Благодаря сдвигу по фазе между напряжением и током отсутствуют паузы тока. Поэтому разряд, погаснув, без заметной паузы вновь будет зажжен. Таким образом, при этом способе стабилизации разряда существенно уменьшаются пики перезажигания, улучшаются условия повторного зажигания разряда, что

создает более благоприятные условия работы электродов, кривая тока менее искажена, чем при активном сопротивлении, и она по своей форме ближе к синусоидальной. Потери мощности в дросселе определяются его активным сопротивлением, а так как оно значительно меньше, чем индуктивное сопротивление, то этот способ стабилизации разряда более экономичен по сравнению со стабилизацией активным сопротивлением. Потери мощности в дросселе составляют от 10 до 25% мощности, потребляемой лампой. К недостаткам схемы включения лампы с дросселем следует отнести прежде всего ее низкий коэффициент мощности. Благодаря сдвигу по фазе между напряжением и током и принятым соотношением между напряжением на лампе и напряжением сети коэффициент мощности лежит в пределах 0,45—0,6. Поэтому при разработке схемы включения лампы приходится принимать меры для повышения коэффициента мощности установки. Также недостатком дросселей является их относительно большой вес и размеры.

Работа лампы с емкостью (рис. 3,*в* и 4,*в*). При последовательном включении конденсатора с лампой ток в цепи опережает по фазе напряжение в сети на угол, значительно меньший 90°. Ток проходит через лампу только в течение времени, необходимом для заряда конденсатора и при его разрядке. В начале каждого полупериода конденсатор оказывается заряженным, и к лампе приложено амплитудное напряжение, лампа перезажигается, а конденсатор разряжается через нее. Так как при разряде конденсатора в цепи отсутствует ограничивающее ток сопротивление, то он достигает большой величины. Кривые тока лампы и светового потока приобретают пиковый характер и темновые паузы получаются очень большими.

Эти недостатки не позволяют использовать стабилизацию разряда с помощью емкости в сети переменного тока с частотой 50 *гц*. Применение емкостного балласта становится выгодным при работе лампы в сети с повышенной частотой.

На практике часто применяют балласты, состоящие из сочетания емкости и индуктивности с преобладанием первого над вторым.

Связь между характеристиками лампы и параметрами схемы ее включения. Рассмотрение процессов, про-

текающих в люминесцентной лампе как в период ее пуска, так и при установившемся горении, показывает, что нормальная работа лампы находится в сложной зависимости от внешних и внутренних факторов. Элементарные электрические характеристики разряда, а стало быть и лампы, не только являются функциями физических свойств самого разряда, но также зависят от параметров и свойств всех элементов схемы включения. Изменение параметров схемы включения меняет электрический режим лампы, а вместе с ним и основные ее характеристики, такие как мощность лампы, световой поток, световую отдачу и др. Тесная связь между параметрами схемы включения и характеристиками лампы не позволяет рассматривать лампу изолированно от ее схемы включения. Лампа и ее схема включения образуют единый комплекс. Эту важную особенность люминесцентных ламп следует обязательно учитывать при разработке и исследовании схем включения.

Радиопомехи, создаваемые люминесцентными лампами. При зажигании люминесцентной лампы и ее работе она является источником электромагнитных колебаний, лежащих в диапазоне радиочастот, которые могут создавать радиопомехи, мешающие нормальной работе радиоаппаратуры. Источником таких электромагнитных колебаний главным образом являются процессы, протекающие на катоде ламп, связанные с перезажиганием каждые полпериода разряда и переходом тлеющего разряда в дуговой, а также недостаточно хорошее сцепление слоя оксида с вольфрамовым керном, приводящее к появлению «искрения» на катоде. Источником радиопомех могут стать и другие нестационарные процессы, протекающие на катоде и аноде лампы, а также стартеры, применяемые для зажигания ламп, в момент размыканий их контактов. Возникающие электромагнитные колебания при работе ламп могут распространяться в окружающее пространство и вдоль проводов сети. При разработке схем включения приходится учитывать возможность появления радиопомех и принимать ряд мер для снижения их до установленного соответствующими нормами уровня.

Элементы схемы включения люминесцентной лампы в сеть. Совокупность всех элементов схемы включения лампы, обеспечивающая зажигание и нормальную ее работу, конструктивно оформленная в виде единого ап-

парата либо нескольких отдельных блоков, называют пускорегулирующим аппаратом (ПРА).

Проведенное выше рассмотрение процессов зажигания лампы и ее работы в сети позволяет составить принципиальную схему ПРА, которая должна состоять из ряда элементов, выполняющих определенные функции. В реальных схемах каждый элемент может выпол-

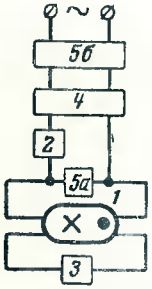


Рис. 5. Блок-схема пускорегулирующего аппарата.

1 — лампа; *2* — балласт; *3* — пусковое устройство; *4* — элемент для повышения коэффициента мощности; ПРА — лампа; *5а*, *5б* — элементы для подавления радиопомех.

нять несколько функций. На рис. 5 представлена такая принципиальная схема ПРА в виде блок-схемы, где каждый блок имеет определенное назначение.

Схема ПРА должна состоять из следующих элементов. Балластное сопротивление *2*, включаемое последовательно с лампой *1*, зажигающее устройство *3*, обеспечивающее зажигание в лампе дугового разряда, устройство для повышения коэффициента мощности комплекта лампа—ПРА (этот элемент ПРА может быть предусмотрен как в каждом отдельном аппарате, так и для группы ламп), устройство для подавления радиопомех, создаваемых лампой и ПРА.

Требования, предъявляемые к ПРА. К ПРА предъявляется ряд требований технического, эксплуатационного, экономического и конструктивного характера, определяемых задачами получения высокоэффективных характеристик комплекта лампа — ПРА и осветительной установки, где применяется данный тип ПРА. Большинство этих требований взаимно противоречиво и их одновременное выполнение представляет сложную технико-экономическую задачу по нахождению оптимального решения. Известно, что оптимизация позволяет найти наилучшее решение, полностью отвечающее поставленной задаче только по одному какому-либо параметру, при удовлетворительном выполнении требований по другим параметрам. Таким образом, выбор соответ-

ствующей схемы включения лампы и разработка конструкции ПРА должны производиться с учетом всех этих многообразных требований.

В общем виде требования, предъявляемые к ПРА, могут быть сформулированы в следующем виде. Пускорегулирующий аппарат должен обеспечить надежное зажигание лампы, стабильность и оптимальное значение ее мощности (светового потока) и срока службы, компенсацию коэффициента мощности, подавление радиопомех, уменьшение пульсации светового потока, быть надежным в работе, иметь малый вес и объем, большой срок службы, низкие эксплуатационные расходы, малые потери мощности и начальную стоимость, быть бесшумным в работе. Кроме того, конструкция ПРА должна быть технологична в производстве, удобна для монтажа, осмотра и ремонта.

Классификация ПРА. В последнее время была предложена классификация ПРА, которая позволяет более четко подходить к анализу, оценке и выбору схемы включения люминесцентных ламп.

В основу этой классификации было положено два независимых признака: назначение аппарата и температурный режим катода лампы в пусковой период. Первый признак позволяет разделить все типы ПРА по их назначению на четыре группы, а в соответствии со вторым признаком выделить два основных класса схем включения в зависимости от режима пуска лампы.

Группы ПРА по их назначению.

Первая группа. Схемы и аппараты, предназначенные для питания люминесцентных ламп током промышленной частоты.

Вторая группа. Схемы и аппараты для питания люминесцентных ламп постоянным током.

Третья группа. Преобразователи частоты и ПРА для питания люминесцентных ламп током повышенной и высокой частоты.

Четвертая группа. Устройства для регулирования яркости люминесцентных ламп.

Классы ПРА в зависимости от температурного режима катодов лампы в период пуска.

ПРА холодного или мгновенного зажигания, когда отсутствует предварительный подогрев катодов. Этот класс ПРА может быть разбит на следующие подклассы:

1) ПРА без трансформации напряжения или простейшие;
2) ПРА с трансформацией напряжения;
3) резонансные ПРА;
4) ПРА с высокочастотным пусковым устройством;
5) комбинированные ПРА.

ПРА с предварительным подогревом катодов или горячего зажигания. Этот класс ПРА может быть разбит на два основных подкласса: стартерные и бесстартерные ПРА. В свою очередь бесстартерные ПРА можно группировать по следующим видам:
1) резонансные ПРА;
2 трансформаторные ПРА «быстрого» пуска;
3) комбинированные ПРА — резонансно-трансформаторные.

2. СТАРТЕРНЫЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

В отечественной практике наибольшее распространение в настоящее время получили стартерные схемы включения люминесцентных ламп. Этому способствовало ряд положительных качеств, свойственных этим схемам и ПРА, построенным на их основе. К достоинствам стартерных схем включения следует отнести их простоту, в связи с чем стартерные ПРА имеют относительные небольшие размеры, вес, малые потери мощности и соответственно стоимость, по сравнению с более сложными бесстартерными ПРА.

Однако стартерные схемы наряду с указанными достоинствами имеют существенные недостатки, заставляющие в настоящее время переходить в массовом порядке к другим более совершенным схемам включения ламп.

К основным недостаткам стартерных схем следует отнести снижение срока службы ламп при работе в этих схемах и их низкую надежность. Эти недостатки объясняются следующими характерными особенностями работы стартерных схем. Срок службы ламп зависит от числа включений и продолжительности цикла горения. При каждом включении лампы происходит дополнительный расход оксида, так как процесс зажигания лампы и предпусковые процессы вызывают усиленное распыление оксида. При стартерном зажигании ламп каж-

дый процесс ее пуска состоит из ряда последовательных попыток зажечь лампу, что приводит к снижению ее срока службы. На заводе-изготовителе лампа испытывается в условиях непрерывного горения с циклом отключения каждые 6 *ч*. В реальных условиях эксплуатации цикл включения иной, поэтому фактический срок службы лампы может отличаться от предусмотренного ГОСТ почти в 2 раза. На срок службы ламп также оказывает влияние ненадежность стартера. На условия зажигания люминесцентных ламп в стартерных схемах оказывают влияние напряжения питающей сети, окружающая температура, тип балласта, величина емкости помехоподавляющего конденсатора, установленного в стартере, величина пускового тока и ряд других причин. Надежность зажигания зависит от всех этих факторов. Зависимость надежности от многих факторов снижает общую надежность осветительной установки со стартерной схемой включения.

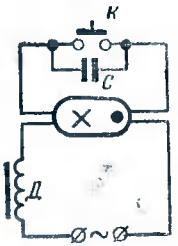


Рис. 6. Схема включения люминесцентной лампы с ручной кнопкой.

Одноламповые схемы включения. На рис. 6 приведена простейшая схема включения люминесцентной лампы с ручной пусковой кнопкой. При нажатии кнопки *К* в цепи начнет проходить ток предварительного подогрева катодов. Величина тока определяется сопротивлением электродов лампы и дросселя. Главным образом величина тока определяется сопротивлением дросселя. Дроссель рассчитывается так, чтобы ток предварительного подогрева в 1,5—2,1 раза превышал рабочий ток горящей лампы. Продолжительность замыкания кнопки составляет 1—2 *сек*.

В момент размыкания кнопки *К* ток в цепи прекращается. Дроссель обладает большой индуктивностью, поэтому резкое уменьшение тока в нем вызывает соответствующее резкое изменение связанного с ним магнитного потока, что приводит к появлению в дросселе значительной по величине э. д. с. Если э. д. с., приложенная к лампе вместе с напряжением сети, будет достаточной по величине, то в лампе возникнет разряд.

Применение ручной пусковой кнопки возможно только для включения отдельных ламп, например настольных и других подобных переносных светильников.

На практике применяют автоматические устройства называемые стартерами или пускателями.

Стартеры тлеющего разряда получили наибольшее распространение (рис. 7). Стартер представляет собой небольшую газоразрядную лампу тлеющего разряда в стеклянной колбе, наполненной инертным газом, чаще всего неоном. Стеклянная колба помещается в пластмассовый или металлический корпус цилиндрической формы. Стартер имеет два электрода. Один электрод — неподвижный, второй изготавливается из биметалла и выполняет роль подвижного контакта выключателя. Такая конструкция стартеров называется несимметричной.

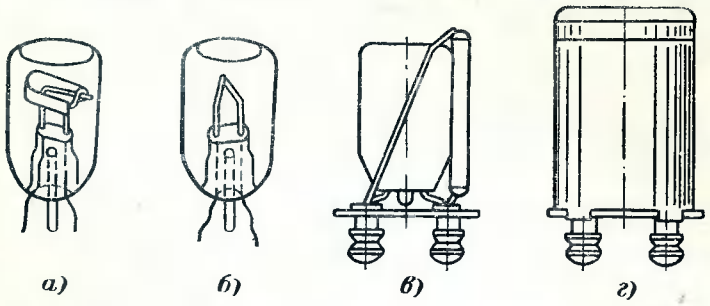


Рис. 7. Стартеры тлеющего разряда.

а, б — вид пускателя с одним и двумя биметаллическими электродами, без кожуха и конденсатора; *в* — пускатель и конденсатор 0,06—0,08 *мкф* для подавления радиопомех; *г* — внешний вид пускателя.

В последнее время промышленностью начат выпуск стартеров симметричной конструкции (рис. 7,*б*), у которых оба электрода выполняются из биметалла. Симметричная конструкция стартеров имеет ряд преимуществ по сравнению с несимметричной. Дело в том, что при несимметричных электродах величина импульса напряжения, создаваемого стартером, зависит от полярности электродов в момент разрыва контактов и при использовании таких стартеров в схемах с емкостно-индуктивным балластным сопротивлением период тлеющего разряда увеличен, поэтому надежность зажигания люминесцентных ламп со стартерами симметричной конструкции больше, чем при стартерах с несимметричной конструкцией.

Параллельно электродам стартера включен конденсатор емкостью 0,004—0,01 *мкф*. Этот конденсатор размещается в корпусе стартера. В отечественных старте-

рах используются пока бумажные конденсаторы, имеющие существенные недостатки: они пожароопасны и непригодны для эксплуатации в условиях повышенной влажности из-за возможного их пробоя, так как парафиновый слой не защищает конденсатор от действия высокой влажности. Согласно ГОСТ 8799-67, начиная с 1969 г., все стартеры будут комплектоваться керамическими конденсаторами, имеющими высокие показатели по надежности.

Конденсатор стартера выполняет две функции: снижает уровень радиопомех, возникающих при контактировании электродов стартера, а также генерируемых лампой; с другой стороны этот конденсатор оказывает влияние на процессы зажигания лампы.

Импульс напряжения в стартере при отсутствии конденсатора составляет 8 000—12 000 *в*, но при этом он имеет малую деятельность (1—2 *мксек*). В этих условиях резко снижается надежность зажигания лампы. При наличии конденсатора импульс напряжения снижается до 600—1 500 *в*, однако его продолжительность увеличивается до 1 000—1 500 *мксек*, что ведет к значительному увеличению энергии импульса. Кроме того, включение конденсатора параллельно электродам уменьшает вероятность возникновения дуги в момент размыкания электродов. Конденсатор также оказывает влияние на срок службы самого стартера.

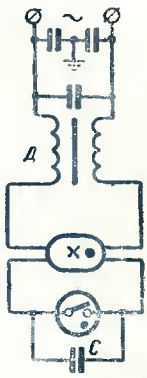


Рис. 8. Схема включения люминесцентной лампы со стартером тлеющего разряда.

Простейшая стартерная схема включения приведена на рис. 8. Процесс зажигания лампы в этой схеме можно разбить на четыре этапа: а) подготовительный—с момента подачи полного напряжения сети на стартер до замыкания его электродов, когда в стартере возникает тлеющий разряд, под действием которого биметаллические электроды (электрод), нагреваясь, изгибаются и замыкают цепь питания электродов лампы; б) нагрев электродов лампы — с момента замыкания электродов стартера до их размыкания, в течение которого благодаря нагреву электродов лампы происходит

значительное снижение напряжения зажигания дугового разряда лампы; в) попытка зажигания лампы — при замкнутых электродах тлеющий разряд в стартере прекращается, его электроды, остывая, размыкаются и в этот момент в дросселе возникает большой импульс напряжения, под действием которого возможно зажигание лампы; г) подготовка стартера к следующему включению — если при первой попытке лампа не зажжется, то стартер автоматически будет повторять описанный цикл до тех пор, пока лампа не загорится.

Длительность стадии тлеющего разряда у стартера составляет в среднем 0,3—1 *сек*, а длительность контактирования электродов примерно 0,2—0,6 *сек*. Зажигание лампы обычно происходит при двух — пяти попытках, при этом суммарное время контактирования стартера за время зажигания лампы составляет 1—2 *сек*. Согласно ГОСТ стартер должен обеспечить зажигание лампы за время не более 15 *сек*. С точки зрения повышения надежности стартерных схем включения было бы желательно обеспечить зажигание лампы с первой попытки, для чего необходимо увеличить время контактирования электродов стартера. Имеются разные возможности решения этой задачи, в том числе одним из возможных вариантов является увеличение времени контактирования за счет увеличения емкости помехоподавляющего конденсатора. Эти возможности в настоящее время исследуются.

Напряжение зажигания в стартере тлеющего разряда выбирается таким образом, чтобы оно было ниже номинального напряжения сети, но больше рабочего напряжения, устанавливающегося на люминесцентной лампе при ее горении. Так, согласно ГОСТ контакты стартера должны оставаться разомкнутыми не менее 1 *мин* при напряжении 70 *в* для стартеров, рассчитанных для работы в сети 127 *в*, и при напряжении 128 *в* — для стартеров на 220 *в*.

После зажигания люминесцентной лампы в цепи установится ток, равный номинальному рабочему току лампы. Этот ток обусловит такое падение напряжения на дросселе, что напряжение на лампе станет примерно равным половине номинального напряжения сети. Так как стартер включен параллельно лампе, то напряжение на нем будет равно напряжению на лампе и в связи с тем, что оно недоста-

точно для зажигания тлеющего разряда в стартере, его электроды останутся разомкнутыми при горении лампы.

Сопротивление дросселя в этой схеме рассчитывается таким же образом, как и в схеме с ручной пусковой кнопкой.

Стартеры тлеющего разряда обладают рядом недостатков, обусловленных принципом работы их.

При длительной работе люминесцентной лампы ее рабочее напряжение увеличивается, а напряжение зажигания стартера, наоборот, уменьшается, что может вызвать периодически повторяющееся замыкание и размыкание электродов стартера при горящей лампе. Помимо неприятного ощущения, мигание может привести к перегрузке балласта и выходу из строя лампы. Подобные же явления могут иметь место при использовании старых стартеров в сети с пониженным уровнем напряжения. Это наиболее часто встречающийся недостаток стартеров. В случае появления миганий лампы необходимо срочно заменить стартер или лампу на новые.

Промежуток времени между включением цепи и началом контактирования стартера не используется, что ведет к дополнительному увеличению времени зажигания лампы.

Стартеры имеют большой разброс времени контактирования, что при малой ее величине может вызвать холодное зажигание ламп.

Малая скорость разрыва электродов приводит к затягиванию переходного процесса зажигания ламп и уменьшению вероятности их зажигания с первой попытки.

Возможны случаи залипания контактов, ведущие к перегреву балластов и в связи с этим выходу из строя ПРА и ламп.

Надежная работа стартера также зависит от уровня напряжения в питающей сети. Со снижением напряжения в питающей сети увеличивается время, необходимое для разогрева биметаллических электродов а при уменьшении напряжения более чем на 20% номинального стартер вообще не обеспечивает контактирования электродов, и лампа не будет зажигаться. Значит, с уменьшением напряжения в питающей сети время зажигания лампы увеличивается.

Для помещений, где по нормам требуется пониженный уровень радиопомех, применение одного конденса-

тора в стартере не обеспечивает полного подавления радиопомех, создаваемых лампой. Поэтому необходимо на вход схемы (рис. 8) установить дополнительно два конденсатора емкостью не менее 0,005 *мкф* каждый, соединенных последовательно, и среднюю точку заземлить.

Хорошим способом снижения уровня радиопомех является применение дросселей с симметрированной обмоткой (рис. 8). Обмотка дросселя состоит из двух совершенно одинаковых частей, имеющих одинаковое число витков, намотанных на один общий сердечник. Каждая часть дросселя соединена последовательно с одним из электродов лампы. В настоящее время, как правило, выпускаемые промышленностью дроссели изготавливаются с симметрированными обмотками.

В схеме на рис. 8 включение последовательно с лампой дросселя приводит к тому, что ток в цепи будет отставать по фазе от приложенного напряжения. Такие схемы называются о т с т а ю щ и м и.

В условиях низких окружающих температур люминесцентные лампы зажигаются плохо и поэтому для обеспечения более надежного зажигания ламп необходимо увеличить длительность предварительного нагрева электродов. Стартеры тлеющего разряда не гарантируют достаточно нагрева электродов в этих условиях и, следовательно, не обеспечивают надежного зажигания ламп. В этом случае необходимо применять тепловые стартеры.

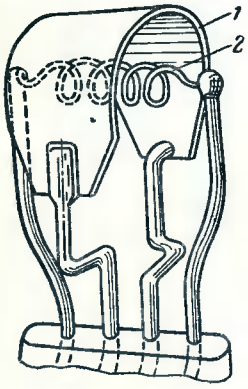


Рис. 9. Тепловой стартер.

Тепловой стартер (рис. 9) устроен следующим образом. В стеклянной колбе размещаются два электрода. Один электрод — неподвижный — из латуни, а второй — подвижной — из биметалла (*1*).

Вблизи биметаллического электрода размещается накальная спираль *2*, которая при прохождении по ней электрического тока нагревается и излучаемым теплом нагревает биметаллический электрод. В нерабочем состоянии, когда в накальной спирали нет тока, электроды

стартера замкнуты. При нагреве биметаллического электрода этот электрод изгибается и контакты стартера размыкаются.

В момент разрыва контактов в дросселе возникает импульс напряжения, который зажигает лампу. Схема включении такого стартера в цепь лампы показана на рис. 10.

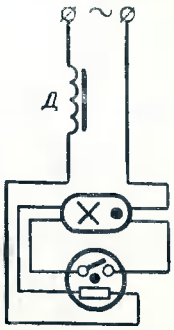


Рис. 10. Схема включения лампы с тепловым стартером.

К преимуществам этих типов стартеров следует отнести возможность обеспечить хороший предварительный нагрев катодов ламп, что позволяет использовать их в условиях низких окружающих температур.

Недостатком стартеров является то, что при необходимости повторного зажигания на это потребуется некоторое время, определяемое временем остывания биметаллического электрода.

В ряде случаев использования люминесцентных ламп требуется создать такие условия, когда ток через лампу опережал бы по фазе напряжение сети. Такие схемы называют о п е р е ж а ю щ и м и. Для выполнения этого условия последовательно с дросселем включается конденсатор, емкость которого рассчитывается таким образом, чтобы его емкостное сопротивление было бы больше индуктивного сопротивления дросселя примерно в 2 раза (рис. 11).

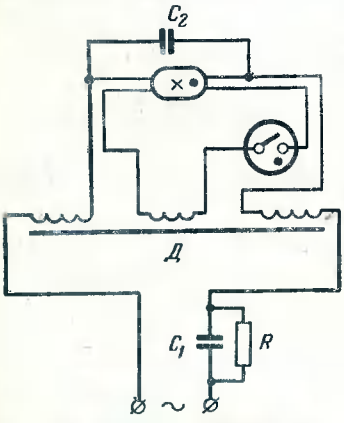


Рис. 11. Опережающая схема включения люминесцентной лампы.

В опережающем балласте в период зажигания лампы ток предварительного подогрева электродов имеет недостаточную величину из-за отличия вольт-амперных характеристик для индуктивного и индуктивно-емкостного балластов. Для увеличения тока подогрева на время зажигания лампы необходимо частично компенсиро-

вать емкость включением последовательно с ней индуктивности. С этой целью в цепь стартера включается компенсирующая катушка, которая в момент замыкания электродов стартера вместе с дросселем увеличивает общую индуктивность цепи и тем самым увеличивает ток предварительного подогрева электродов лампы. После размыкания электродов стартера компенсирующая катушка отключается и в рабочем режиме лампы она не участвует.

Индуктивность дополнительной катушки компенсирует емкость конденсатора, установленного в стартере. Поэтому в схему вводится дополнительный конденсатор емкостью не менее 0,008 *мкф*, включаемый параллельно лампе и выполняющий в этом случае роль помехоподавляющего конденсатора.

Компенсация низкого коэффициента мощности. Один из недостатков рассмотренных схем — низкий коэффициент мощности порядка 0,5—0,6. Пускорегулирующие аппараты, выполненные на основе этих схем, относятся к группе так называемых некомпенсированных аппаратов. При использовании таких ПРА согласно Правилам устройства электротехнических установок для повышения низкого коэффициента мощности необходимо предусматривать индивидуальную либо групповую компенсацию коэффициента мощности, обеспечивающую доведение его для всей осветительной установки до величины 0,9—0,95. Под индивидуальной компенсацией понимается установка дополнительно в каждом ПРА параллельно сетевым зажимам конденсатора, выбранного таким образом, чтобы коэффициент мощности схемы повысился до величины 0,85—0,9 (см. рис. 8). Пускорегулирующие аппараты, изготовленные по этой схеме, называют компенсированными. Ориентировочно можно принять, что при напряжении 127 *в* для ламп мощностью 15 и 20 *вт* конденсатор должен иметь емкость 3,5—4 *мкф*, для ламп мощностью 30 и 40 *вт* при напряжении 220 *в* емкость конденсатора составляет 3—5 *мкф*.

При групповой компенсации компенсирующие конденсаторы выбираются для группы ламп и обычно устанавливаются на щитах, питающих эти лампы. Расчеты показывают, что экономически может быть оправдано применение групповой компенсации при использовании для включения ламп однолампового ПРА.

Расчет компенсирующей установки можно произвести следующим образом. Определяют установленную мощность группы ламп, включая потери в ПРА — P (*вт*).

Зная коэффициент мощности схемы или группы ламп без компенсации и требуемый коэффициент мощности после компенсации, по табл. 1 находят соответствующий коэффициент α, с помощью которого можно подсчитать требуемую реактивную мощность компенсирующих конденсаторов Q:

$$Q = \alpha P, \ вар.$$

По найденной реактивной мощности легко подсчитать емкость конденсаторов, воспользовавшись для этого следующими формулами:

при напряжении сети 127 *в*

$$C = \frac{Q}{5{,}05}, \ мкф;$$

при напряжении сети 220 *в*

$$C = \frac{Q}{15{,}2}, \ мкф.$$

Таблица 1

Определение коэффициента для расчета реактивной мощности компенсирующих конденсаторов по установленной мощности ламп

Коэффициент мощности схемы без компенсации	Коэффициент для расчета реактивной мощности по величине потребляемой активной мощности при требуемом коэффициенте мощности							
	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	0,98	1,0
0,4	1,27	1,41	1,54	1,67	1,81	1,95	2,09	2,29
0,42	1,14	1,28	1,41	1,54	1,68	1,83	1,96	2,16
0,44	1,02	1,15	1,29	1,42	1,56	1,70	1,84	2,04
0,46	0,91	1,04	1,18	1,31	1,45	1,60	1,73	1,93
0,48	0,80	0,93	1,08	1,21	1,34	1,50	1,63	1,83
0,50	0,71	0,85	0,98	1,11	1,25	1,40	1,53	1,73
0,52	0,62	0,76	0,89	1,03	1,16	1,31	1,44	1,64
0,54	0,54	0,68	0,81	0,94	1,08	1,26	1,36	1,56
0,56	0,46	0,60	0,73	0,86	1,00	1,15	1,28	1,48
0,58	0,39	0,52	0,66	0,78	0,92	1,07	1,20	1,41
0,60	0,31	0,45	0,58	0,72	0,85	1,00	1,13	1,33

Схемы с трансформацией питающего напряжения. Во всех рассмотренных случаях номинальное напряжение питающей сети примерно в 2 раза больше рабочего напряжения на горящей люминесцентной лампе. На прак-

тике бывает необходимо включить лампу в сеть с напряжением, в несколько раз превышающим рабочее напряжение лампы либо примерно равное или меньше его Например, необходимо включить лампы мощностью 15 или 20 *вт*, рассчитанные на 127 *в*, в сеть 220 *в* либо лампы мощностью 30 или 40 *вт*, рассчитанные на 220 *в*,

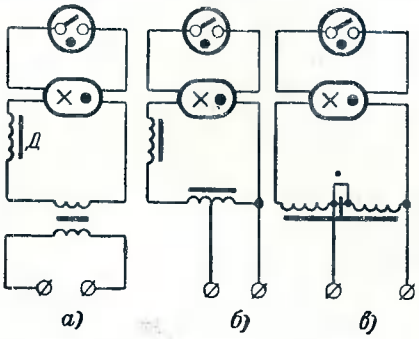


Рис. 12. Схемы включения лампы с трансформацией питающего напряжения.

в сеть 127 *в*. В этих случаях приходится трансформировать питающее напряжение сети. Для этого используются трансформаторы (рис. 12, *а*) либо автотрансформаторы (рис. 12, *б*). При небольших коэффициентах трансформации до трех экономически выгодно применять автотрансформаторы, а при больших — трансформаторы.

В некоторых случаях выгодно объединить вторичную обмотку трансформатора (рис. 12, *а*) или автотрансформатора (рис. 12, *б*) с дросселем (рис. 12, *в*). Это уменьшает вес, размеры и общие потери мощности пускорегулирующего аппарата. Возможность совмещения дросселя со вторичной обмоткой трансформатора (или автотрансформатора) можно обеспечить лишь тогда, когда удается получить уменьшение напряжения во вторичной обмотке с увеличением ее нагрузки. Такая зависимость получается, если между первичными и вторичными обмотками искусственным путем будет уменьшена магнитная связь, т. е. такой трансформатор должен иметь специальный магнитный шунт (обходной путь), через который будет замыкаться та или иная часть магнитного потока, созданного в первичной обмотке, минуя вторичную обмотку. Трансформаторы или автотрансформато-

ры, имеющие подобную конструкцию, называются соответственно трансформаторами или автотрансформаторами с большим рассеянием.

Двухламповые схемы включения. С точки зрения уменьшения пульсации светового потока нежелательно применение для освещения одиночных ламп, так как при этом не удается уменьшить стробоскопический эффект, создаваемый одной люминесцентной лампой.

Применение однофазных двухламповых схем за исключением последовательного включения ламп дает возможность уменьшить пульсацию их суммарного светового потока и тем самым в некоторой степени устранить вредное влияние этого явления. Это достигается за счет того, что пульсации светового потока каждой лампы происходят не одновременно, а с некоторым сдвигом по времени.

Возможен и другой прием уменьшения стробоскопического эффекта: включать люминесцентные лампы на разные фазы трехфазной сети. Суммарный световой поток ламп становится почти постоянным.

На рис. 13 показана двухламповая схема включения, часто называемая схемой «с расщепленной фазой». Эта схема является комбинацией однолам-повых схем: отстающей и опережающей. Выбирая коэффициент мощности для каждой ветви равным 0,5, мы получим, что в индуктивной ветви ток будет отставать от напряжения примерно на угол 60°, а в емкостной — опережать на угол 60°. Следовательно, коэффициент мощности всей схемы будет близким к единице. В связи с этим двухламповую схему следует отнести к группе компенсированных схем. В этом состоит второе преимущество двухламповой схемы по сравнению с однолам-повой, где для повышения коэффициента мощности приходилось дополнительно включать емкость.

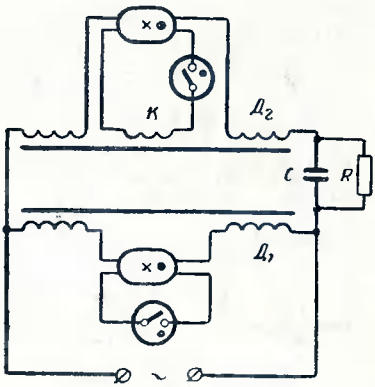


Рис. 13. Двухламповая схема с расщепленной фазой.

Применение двухламповых ПРА дает также выигрыш в размерах устройства и в расходе других конструкционных материалов. Отечественная промышленность выпускает по двухламповой схеме большую группу ПРА различной конструкции.

Последовательное включение люминесцентных ламп. На практике иногда возникает необходимость в последовательном включении люминесцентных ламп, когда, например, требуется включить в сеть с напряжением 220 *в* две лампы мощностью 15 или 20 *вт*, имеющих рабочее напряжение порядка 60 *в*.

Для последовательного включения должны быть взяты две одинаковые по мощности лампы. Нельзя включать последовательно лампы разной мощности, так как рабочий ток у таких ламп не одинаков по величине. В качестве балластного сопротивления может быть использован стандартный дроссель, рассчитанный на суммарную мощность последовательно включаемых ламп. Кроме того, промышленностью выпускаются специальные ПРА для последовательного включения ламп.

В схеме на рис. 14, *а* стартеры должны быть взяты на половину напряжения сети, т. е. для сети 220 *в* стар-

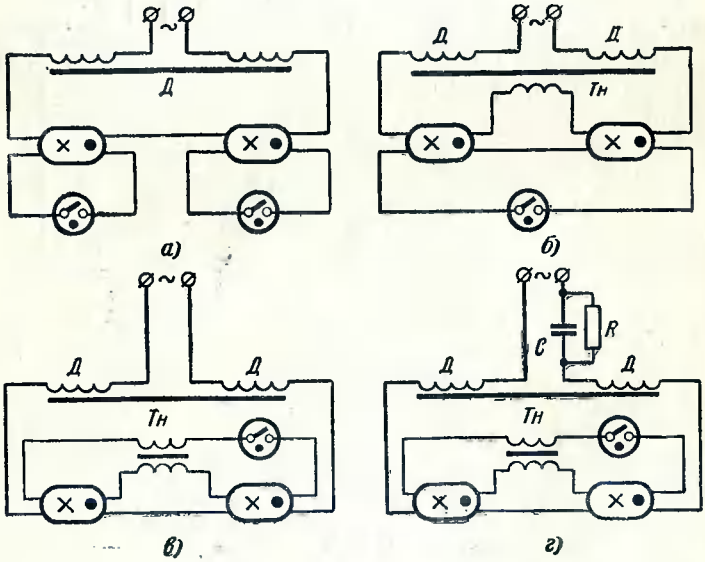


Рис. 14. Схемы последовательного включения люминесцентных ламп.

тер выбирается на напряжение 127 *в*. Недостаток этой схемы — при несимметричной конструкции стартера возможны случаи их неодновременной работы, что может привести к холодным зажиганиям ламп, а также возможно незажигание ламп при неодновременной работе стартеров.

В схеме на рис. 14, *б* предварительный подогрев двух электродов ламп осуществляется специальным накальным трансформатором. В этой схеме используется один стартер, рассчитанный на номинальное напряжение сети. Эта схема имеет некоторые преимущества по сравнению с первой, поэтому ее применение более рационально.

На рис. 14, *в* приведена схема последовательного включения двух ламп, отличающаяся от ранее рассмотренных тем, что применен отдельный накальный трансформатор, работающий как трансформатор тока. После зажигания ламп стартер отключает накальный трансформатор и в рабочем режиме дополнительный накал электродов ламп отсутствует. По сравнению со схемой на рис. 14, *б* применение отдельного накального трансформатора повышает экономичность ПРА за счет снижения потерь мощности в рабочем режиме. На рис. 14, *г* показана схема аппарата типа 2УБЕ с последовательным включением ламп. Преимущество этой схемы — отсутствие необходимости в дополнительной обмотке в цепи стартера, устанавливаемой обычно в одноламповых аппаратах емкостного типа. Индуктивность накального трансформатора достаточна для получения необходимой величины пускового тока, поэтому и не требуется вводить в схему дополнительную обмотку.

3. БЕССТАРТЕРНЫЕ СХЕМЫ ГОРЯЧЕГО ЗАЖИГАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Растущий из года в год объем применения люминесцентных ламп выдвигает на первый план вопрос о повышении надежности осветительных установок. Дальнейшее широкое использование стартерных схем зажигания, имеющих низкие показатели по надежности, не может обеспечить решение поставленной задачи. Одним из возможных путей увеличения надежности работы осветительных установок является широкое применение бесстартерных схем зажигания люминесцентных ламп.

которые в последние годы получили большое распространение.

Возможность бесстартерного зажигания люминесцентных ламп основана на следующих предпосылках.

Как видно из зависимости напряжения зажигания от температуры электродов ламп (см. рис. 2, *а*), с повышением температуры электродов напряжение зажигания постепенно уменьшается до определенного значения, при котором происходит резкий спад напряжения зажигания, что объясняется значительным повышением термоэлектронной эмиссии электродов и более легким переходом от тлеющего разряда к дуговому. После крутого спада кривая опять идет полого и напряжение зажигания дальше практически не снижается.

Применение на лампе проводящей полосы или проводящего покрытия дает еще большее снижение напряжения зажигания ламп. На величину напряжения зажигания лампы оказывают влияние расположенные вблизи металлические проводники. Чем ближе и чем больше площадь проводника, тем сильнее снижается напряжение зажигания лампы. Роль такого проводника может играть металлический корпус светильника, который обычно заземляется. Опытным путем установлено, что приближение лампы к внутренней поверхности металлического заземленного отражателя светильника на расстояние 5 *мм* по своему действию примерно равноценно размещению на лампе проводящей полосы.

Дополнительное влияние на напряжение зажигания ламп также может оказать потенциал, поданный на металлическую полосу на лампе или на корпус светильника. Опыт показывает, что если на проводящую полосу подать потенциал порядка 220 *в*, то при этом можно получить снижение напряжения зажигания лампы на 35—60 *в*. Наличие потенциала на металлической полосе или светильнике снижает влияние внешних факторов на величину напряжения зажигания ламп. Исходя из этих зависимостей, если ПРА обеспечит достаточный предварительный подогрев электродов лампы и напряжение холостого хода аппарата окажется выше напряжения зажигания лампы, произойдет зажигание лампы В этом и состоит идея горячего бесстартерного зажигания люминесцентных ламп.

Учитывая возможность разброса в силу указанных ранее причин величины напряжения зажигания для от-

дельных ламп, зависимость напряжения зажигания от температуры электродов представляется в виде некоторой области зажигания (заштрихована на рис. 15), где верхняя и нижняя границы указывают на вероятные максимальное и минимальное значения напряжения зажигания группы ламп.

Для надежного зажигания люминесцентных ламп очевидно необходимо установить, чтобы верхняя нормируемая граница горячего зажигания ламп, т. е. наибольшая допустимая величина напряжения зажигания ламп с предварительно подогретыми электродами, была не выше нижней (минимальной) нормируемой величины напряжения холостого хода ПРА. В этом случае не будут зажигаться только те лампы, которые бракуются по величине напряжения зажигания. Для повышения вероятности зажигания ламп обычно устанавливают несколько повышенное значение напряжения холостого хода ПРА. При этом возникает опасность появления в лампах холодных зажиганий. Во избежание этого приходится ограничивать не только наименьшее значение напряжения холостого хода ПРА, но и допустимую его наибольшую величину, которая должна быть меньше нижней границы напряжения холодного зажигания люминесцентных ламп.

Таким образом, в пусковом режиме ПРА должен обеспечивать такое напряжение холостого хода, при котором, с одной стороны, зажигание ламп было бы достаточно надежным, а с другой стороны, должна быть насколько возможна сокращена вероятность возникновения холодных зажиганий ламп. Кроме того, ПРА должен создавать такой пусковой ток, при котором электроды лампы быстро нагреваются, но не перекаливаются. В рабочем режиме требования к ПРА сводятся к обеспечению необходимого ограничения величины тока ламп, наименьшего его искажения по форме, поддержанию стабильности мощности лампы при возможных колебаниях напряжения в сети, а также снижению величины тока (напряжения) подогрева электродов по сравнению с пусковым периодом.

Для схем с предварительным подогревом катодов возможны три варианта осуществления зажигания ламп.

Первый вариант (рис. 15, *а*). Напряжение холостого хода ПРА на лампу подается одновременно с напряжением предварительного подогрева электродов.

При этом величина этого напряжения на лампе остается неизменной до момента зажигания лампы. Напряжение холостого хода ПРА выбирается из расчета, чтобы зажигание лампы произошло при достаточно нагретых электродах. По мере нагрева электродов, напряжение зажигания снижается и, когда оно достигнет величины напряжения холостого хода ПРА, лампа зажжется. При этом способе включения имеется большая вероятность холодных зажиганий ламп, так как напряжение холостого хода ПРА, выбираемое по величине наибольшего напряжения горячего зажигания группы ламп, для части ламп окажется слишком высоким и это может привести к их холодному зажиганию.

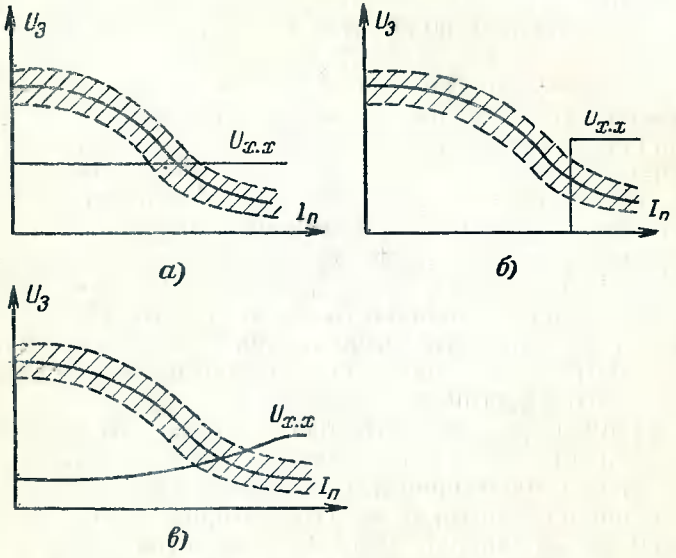


Рис. 15. Характеристики различных способов бесстартерного зажигания ламп.

Второй вариант (рис. 15, *б*). Напряжение холостого хода ПРА подается на лампу только после предварительного достаточного подогрева электродов. Напряжение холостого хода ПРА может быть достаточно высоким, что обеспечивает надежное зажигание ламп. Этот способ создает наилучшие условия зажигания ламп и вероятность их холодного зажигания практически снижена до нуля.

Третий вариант (рис. 15, *в*). После достаточного предварительного подогрева электродов резко увеличивается напряжение холостого хода ПРА или понижается напряжение зажигания лампы. Этот способ включения обеспечивает небольшую вероятность холодных зажиганий.

В соответствии с принятой классификацией бесстартерных схем с предварительным подогревом электродов их можно разделить на три группы: резонансные, трансформаторные и комбинированные.

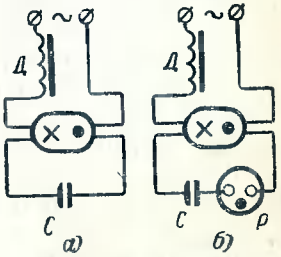


Рис. 16. Простейшие бесстартерные резонансные схемы.

Резонансные схемы с последовательным соединением катодов лампы (рис. 16). Простейшая резонансная схема (рис. 16,*а*) состоит из дросселя, включенного последовательно с катодами лампы, и конденсатора, шунтирующего лампу. Индуктивность дросселя и конденсатор, подобранные соответствующим образом, образуют так называемый резонансный контур, в котором возникают резонансные явления. Благодаря резонансному режиму напряжение на конденсаторе становится достаточно большим, что и обеспечивает зажигание лампы. После зажигания конденсатор, включенный параллельно лампе, шунтируется разрядом в ней. Резонансный режим нарушается, и на лампе устанавливается рабочее напряжение.

В рабочем режиме емкость оказывает вредное влияние на работу лампы, так как до перезажигания лампы эта емкость заряжается и в момент перезажигания лампы разряжается через нее. Это обусловливает появление пиков тока через лампу и приводит к искажению формы кривой. Второй недостаток схемы — большая вероятность появления холодных зажиганий ламп, что заставляет с осторожностью подходить к возможности практического использования этой схемы.

На рис. 16,*б* показан улучшенный вариант простейшей резонансной схемы. Последовательно с конденсатором включен ионный разрядник, представляющий собой газоразрядный прибор, пропускающий ток лишь тогда, когда напряжение между его электродами достигает определенного значения. Это напряжение называют

потенциалом зажигания разрядника. Если выбрать разрядник с потенциалом зажигания, равным минимальному допустимому напряжению в питающей сети, то независимо от того, в какой момент времени произошло включение схемы, пробой разрядника, т. е. замыкание цепи конденсатора, будет иметь место только при напряжении сети, близком к его амплитудному значению. Напряжение на конденсаторе в момент включения будет примерно равно удвоенному напряжению сети. С зажиганием разряда в лампе напряжение на ней уменьшается и разрядник гаснет, отключая конденсатор. Теперь уже при работе лампы она не шунтируется конденсатором, поэтому исключается вредное влияние емкости на форму кривой тока.

Хотя схема с разрядником в цепи конденсатора несколько лучше, чем простая резонансная схема, она также не исключает возможности появления холодных зажиганий ламп и перегрузки электродов повышенным пусковым током. Эта схема может быть рекомендована к применению в тех случаях, когда не требуется частых отключений и включений ламп.

На рис. 17 показано дальнейшее развитие простейшей резонансной схемы. На рис. 17, *а* дроссели $Д_1$ и $Д_2$ и конденсатор C образуют резонансный контур. Напряжение на конденсаторе C и дросселе $Д_2$ повышается и достигает 1,5—2-кратного напряжения сети.

Дроссель $Д_2$ вводится в схему для устранения искажений формы тока, вносимых наличием емкости. Введение этой индуктивности не оказывает влияния на режим работы люминесцентной лампы в пусковом периоде. Однако эта индуктивность в рабочем режиме демпфирует пики разрядного тока емкости через лампу. В результате этого ток в момент перезажигания лампы нарастает медленно, что несколько меняет условия работы лампы, затягивая процессы ее перезажигания.

В схеме на рис. 17, *б* конденсатор C_1 и дроссель $Д_1$ составляют индуктивно-емкостный балласт. За счет резонансных явлений напряжение на дросселе $Д_2$ повышается, и в цепи лампы проходит увеличенный против номинального ток предварительного подогрева катодов. Повышенное напряжение на дросселе $Д_2$ зажигает лампу, а разряд в лампе шунтирует дроссель $Д_2$ и тем самым выводит схему из резонансного состояния. Далее процесс развивается так же, как уже было описано

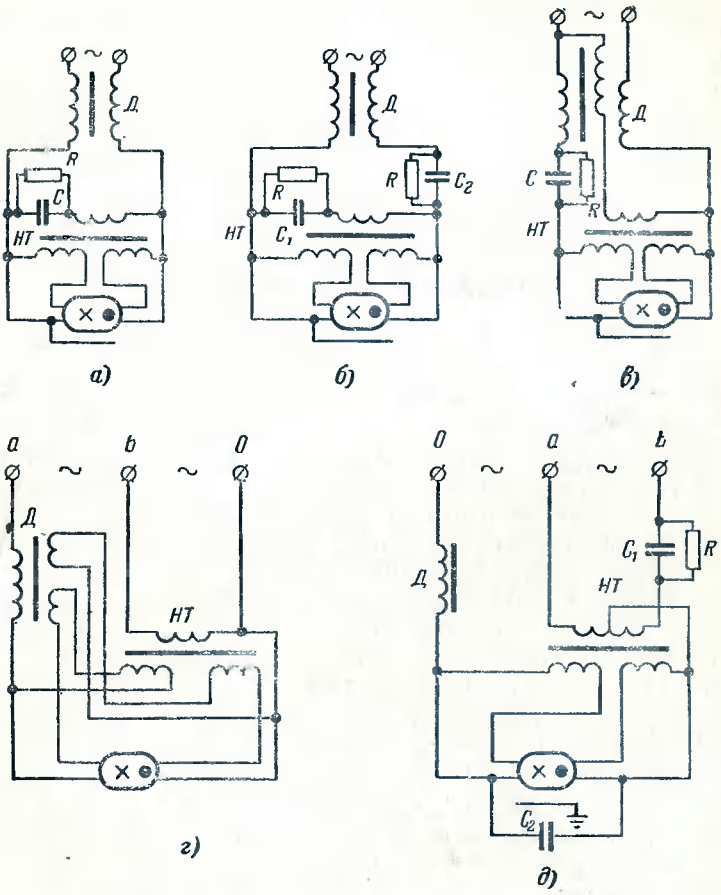


Рис. 17. Резонансные схемы с последовательным соединением электродов.

выше. Обратим внимание на некоторые особенности работы схемы. Включение параллельно лампе дросселя $Д_2$ предъявляет к нему ряд требований. Сопротивление дросселя $Д_2$ должно быть высоким для того, чтобы уменьшить величину тока, проходящего через него при горящей лампе.

Включение дросселя $Д_2$ параллельно лампе улучшает условия перезажигания разряда, которые имеют место каждые полпериода. Разряд в лампе не гаснет, отсутст-

вуют паузы тока. Конденсатор C_2 уменьшает уровень радиопомех. Недостаток этой схемы состоит в большой вероятности получения холодных зажиганий ламп.

На рис. 17, *в* показана резонансная схема, в которой применен один двухобмоточный дроссель. Это дает экономию активных материалов, уменьшает размеры и упрощает конструкцию ПРА. Недостатком схемы является сложность подбора параметров отдельных элементов, обеспечивающих исключение холодных зажиганий ламп и получение необходимого тока предварительного подогрева электродов.

На рис. 17,*г* дана схема с несимметричным подогревом электродов лампы. В средней точке дросселя сделан отвод, к которому присоединен конденсатор, и предусмотрена дополнительная обмотка, используемая для предварительного подогрева одного из электродов лампы. При негорящей лампе ток проходит через половину дросселя, конденсатор C и второй электрод лампы, обеспечивая предварительный подогрев этого электрода. Емкость конденсатора выбирается из условия получения опережающего по фазе сдвига тока, проходящего по этой цепочке. Тогда в пусковом режиме напряжение на лампе будет значительно превышать напряжение питающей сети ($1{,}5 \div 2{,}5\ U_{\text{в}}$). Такая схема может быть применена в уличных светильниках, где при низких окружающих температурах требуется иметь более высокое напряжение холостого хода ПРА для зажигания ламп.

В схеме на рис. 17, *д* применен симметричный подогрев электродов от трансформатора тока, используемого как накальный трансформатор. Между дросселем и трансформатором, параллельно лампе, включен конденсатор, который вместе с трансформатором обеспечивает повышение напряжения холостого хода ПРА до $1{,}1 \div 1{,}3\ U_{\text{п}}$. При горящей лампе через трансформатор проходит ток, равный сумме токов в цепях с конденсатором и лампой. Благодаря сдвигу по фазе этих токов суммарный ток будет меньше, чем ток через конденсатор, поэтому ток подкала в рабочем режиме снижается по сравнению с током предварительного подогрева.

Наибольшее практическое распространение получили *трансформаторные схемы быстрого пуска.* На рис. 18 приведены простейшие бесстартерные схемы, в которых в качестве балластного сопротивления используется дроссель, а предварительный подогрев катодов осуществ-

ляется накальным трансформатором (рис. 18, *а*) либо автотрансформатором (рис. 18, *б*).

Трансформатор имеет две накальные обмотки, которые обычно соединяются таким образом, чтобы напряжение накала суммировалось с напряжением, поданным на первичную обмотку накального трансформатора. Это несколько увеличивает напряжение на лампе в пусковой период ($0{,}85 \div 1{,}05\,U_н$), однако оно все же может оказаться недостаточным для уверенного зажигания ламп, что является недостатком этой схемы.

В схеме с автотрансформатором (рис. 18, *б*) возможно получение более высокого напряжения холостого хода ($1 \div 1{,}2\,U_н$), чем при схеме с трансформатором.

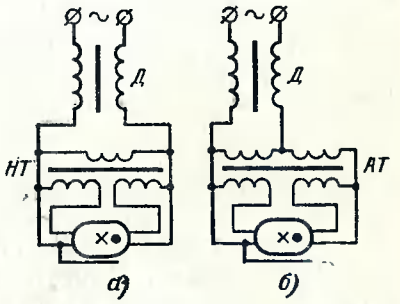


Рис. 18. Бесстартерные схемы зажигания люминесцентных ламп с накальным трансформатором и автотрансформатором.

Зажигание лампы в этих схемах произойдет в тот момент, когда напряжение зажигания лампы, снижаясь, станет равным напряжению холостого хода ПРА. После зажигания лампы через дроссель начнет проходить ее рабочий ток. Этот ток создаст на дросселе падение напряжения, вследствие чего снизится примерно в 2 раза напряжение на лампе и первичной обмотке трансформатора или автотрансформатора. Также примерно в 2 раза уменьшится напряжение накала электродов. Схемы, в которых предусматривается автоматическое уменьшение напряжения накала электродов или тока подогрева после зажигания лампы, называют компенсированными.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что при горении лампы через ее электроды постоянно проходит ток подогрева. Это вызывает дополнительные потери мощности, и по сравнению со стартерными схемами любая бесстартерная схема обладает меньшей экономичностью по потерям мощности в ПРА. Однако эти схемы повышают надежность осветительных установок, а срок службы ламп при бесстартерном зажигании на 50—70%

больше, чем в стартерных. Кроме того, они обладают рядом эксплуатационных преимуществ. По некоторым экспериментальным данным наличие постоянного подогрева электродов оказывает благоприятное влияние на работу ламп.

В отдельных случаях выгодно применять бесстартерную схему с трансформатором или автотрансформатором с большим рассеянием (рис. 19), где в одном приборе объединяются функции дросселя и накального трансформатора. Такое объединение создает преимущество в смысле уменьшения веса, размеров и общих потерь в ПРА, но имеет недостатки: низкий коэффициент мощности.

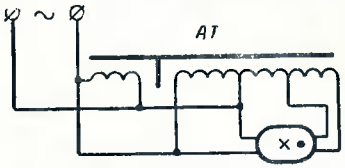


Рис. 19. Схема включения люминесцентной лампы с трансформатором с большим рассеянием.

На рис. 20 приведена группа бесстартерных схем, которая получила большое распространение в отечественной практике для изготовления ПРА.

В схеме на рис. 20, *а* последовательно с первичной обмоткой накального трансформатора включается конденсатор. В зависимости от емкости этого конденсатора и параметров накального трансформатора можно получить ряд модификаций схемы. Рассмотрим варианты этой схемы.

Первичная и вторичные обмотки трансформатора включены встречно. В процессе предварительного подогрева катодов их температура растет, а вместе с ней увеличивается омическое сопротивление электродов, что в свою очередь вызывает уменьшение тока предварительного подогрева. Благодаря встречному включению обмоток уменьшение тока предварительного подогрева означает снижение размагничивающего действия вторичной обмоткой трансформатора на первичную, в силу чего начнет увеличиваться ток в первичной обмотке. Сердечник трансформатора получит сильное магнитное насыщение и форма кривой тока в первичной обмотке исказится, т. е. ее форма будет отличаться от синусоидальной, которую она имела при холодных электродах. В кривой тока появятся так называемые высшие гармонические составляющие, характеризуемые тем, что они имеют частоту, кратную часто-

те питающего тока (при основной частоте 50 *гц* частота высших гармонических будет 150, 250 *гц* и т. д.).

Конденсатор, дроссель и первичная обмотка накального трансформатора образуют резонансный контур. Из элементарной физики хорошо известно явление резонанса. Если взять резонансный контур, настроенный на определенную частоту, и приложить к нему напряжение с частотой, близкой к той, на которую настроен этот контур, то напряжение на отдельных элементах контура повысится и может стать даже выше напряжения, приложенного к нему. В рассматриваемой схеме конденса-

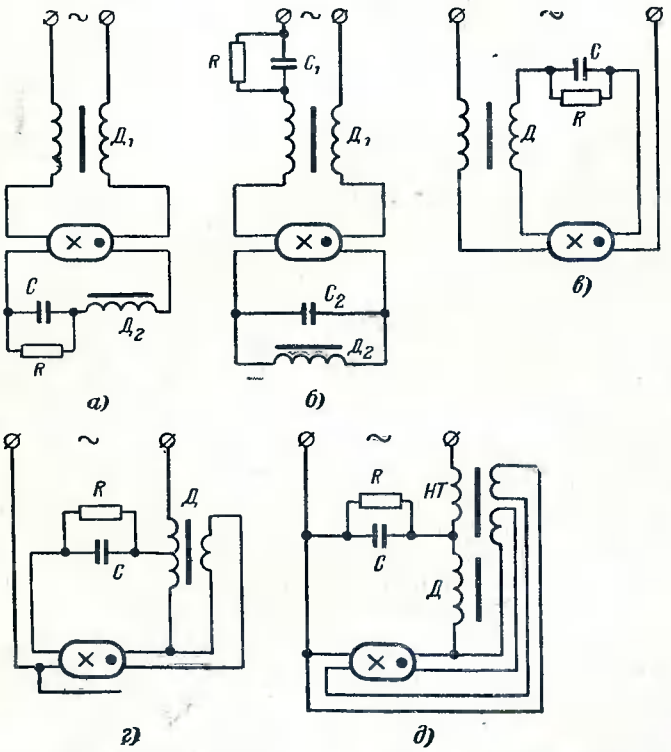


Рис. 20. Бесстартерные схемы включения люминесцентных ламп с накальным трансформатором.

тор, включенный в первичную обмотку накального трансформатора, выбирается с таким расчетом, чтобы упомянутый резонансный контур был настроен примерно на частоту 150 *гц*. Тогда при искажении формы первичного

тока в трансформаторе за счет резонансных явлений на повышенной частоте напряжение на дросселе увеличится и, складываясь с напряжением питающей сети, оно окажется достаточным для зажигания лампы. Так как в этой схеме может быть получено довольно высокое напряжение холостого хода, то с помощью ПРА, построенного по данной схеме, возможно зажигание обычных стандартных ламп, не имеющих проводящей полосы.

После зажигания лампы напряжение на накальном трансформаторе снизится и резонансные явления прекратятся. К достоинствам этой схемы следует отнести то, что зажигание лампы происходит при достаточно прогретых катодах. Недостаток схемы — сложность регулирования и подбора параметров отдельных ее элементов.

Первичная и вторичные обмотки трансформатора включены согласно. При таком включении обмоток в зависимости от параметров конденсатора может быть получено несколько вариантов схем.

Емкость конденсатора выбирается такой, чтобы ток в первичной обмотке имел емкостный характер, т. е. опережал по фазе приложенное напряжение. В этом случае падение напряжения на дросселе, складываясь с напряжением на конденсаторе и напряжением питающей сети, создает на лампе увеличенное напряжение $(1{,}05 \div 1{,}3\,U_н)$, под действием которого лампа зажигается при достаточно прогретых электродах.

Если выбрать емкость конденсатора из условия обеспечения равенства токов при работе лампы в обоих токоведущих проводах, соединяющих каждый электрод с концами соответствующей вторичной обмотки накального трансформатора, то можно получить вариант схемы, в которой лампа при горении будет иметь два катодных пятна, в отличие от обычной стартерной схемы, где катодное пятно образуется на токоведущем конце электрода, т. е. конце электрода, присоединенном к проводам питающей сети. В бесстартерных схемах при согласном включении обмоток накального трансформатора катодное пятно образуется на том конце электрода, который имеет более высокий потенциал, т. е. на конце электрода, не присоединенном к проводам питающей сети. В рассматриваемом варианте схемы катодное пятно образуется на обоих концах электрода. Нагрев электрода получается более равномерным и срок службы лампы увеличивается.

На рис. 20,*б* приведена схема с опережающим балластом. В отличие от схемы на рис. 20,*а* конденсатор, включенный в первичную обмотку накального трансформатора, главным образом выполняет защитные функции. При работе лампы, если выйдет из строя один из ее электродов, лампа может гореть только в течение одного полупериода напряжения. Такой режим работы лампы называют однополупериодным. При отсутствии конденсатора в первичной обмотке накального трансформатора через нее будет проходить большой ток, вызывающий дополнительный перегрев трансформатора, что может служить причиной выхода его из строя. При включенном защитном конденсаторе, когда возникает однополупериодный режим, этот и балластный конденсаторы заряжаются постоянной составляющей тока, после чего ток в цепи сильно уменьшается и лампа гаснет. После разряда конденсаторов через разрядные сопротивления лампа загорается и по истечении определенного времени вновь гаснет. Периодичность таких «миганий» составляет несколько секунд. Появление миганий указывает на неисправность лампы и она подлежит замене.

На рис. 20,*в* показан другой вариант опережающей схемы. Здесь конденсатор включен между лампой и балластным дросселем и последовательно с первичной обмоткой накального трансформатора включена дополнительная обмотка, расположенная на балластном дросселе. За счет трансформации напряжения из дополнительной обмотки в балластную при пуске лампы обеспечивается повышение напряжения холостого хода ПРА и, кроме того, такая схема включения гарантирует защиту трансформатора от однополупериодного режима. В рабочем режиме лампы дополнительная обмотка обеспечивает необходимое снижение напряжения предварительного подогрева электродов.

Рассмотренные схемы обладают общим недостатком — имеют низкий коэффициент мощности. Для его повышения необходимо дополнительно включать параллельно сетевым зажимам конденсатор либо применять двухламповую схему с расщепленной фазой, объединяя в один аппарат отстающую (рис. 20,*а*) и опережающую схемы (рис. 20,*б*).

В последние годы получают все большее распространение бесстартерные аппараты, предназначенные для включения в трехфазную сеть 380/220 *в*. На рис. 20,*г*

показана схема аппарата типа 1АБИ. Лампа и последовательно с ней соединенный дроссель питаются фазным напряжением трехфазной сети 380/220 *в*, опережающим по фазе на 120° фазное напряжение, питающее накальный трансформатор. Снижение напряжения подогрева электродов лампы в рабочем режиме и увеличение пускового напряжения, приложенного к лампе, достигается за счет применения двух компенсационных обмоток, расположенных на дросселе и включенных последовательно со вторичными обмотками накального трансформатора. Недостаток этого аппарата — низкий коэффициент мощности.

Для получения высокого коэффициента мощности могут быть использованы аппараты типа 1АБК. На рис. 20,*д* показана схема такого аппарата. Компенсирующий конденсатор включен последовательно в первичную обмотку накального трансформатора. Накальный трансформатор включен на линейное напряжение, а от средней точки первичной обмотки сделан отвод, поэтому лампа оказывается включенной на фазное напряжение. Параллельно лампе включен небольшой конденсатор для подавления радиопомех.

Большинство рассмотренных выше схем относится к первому варианту зажигания ламп (см. рис. 15,*а*). Общим недостатком всех этих схем является необходимость ограничения величины получаемого напряжения холостого хода, так как в случае превышения его определенной величины увеличивается вероятность холодных зажиганий ламп.

Схемы, обеспечивающие второй вариант зажигания ламп (см. рис. 15, *б*), дают возможность совершенно исключить холодные зажигания ламп. Однако существующие схемы очень сложны из-за необходимости автоматизации процесса подачи напряжения на лампу только после окончания ее предварительного подогрева.

Весьма перспективны схемы включения, в которых напряжение зажигания лампы резко снижается по мере предварительного подогрева катодов. На рис. 21 приведены два варианта подобных схем.

В цепь первичной обмотки накального трансформатора включается сопротивление R (рис. 21,*а*) либо конденсатор C (рис. 21,*б*) и проводящая полоса подключается не к одному из электродов ламп, как в обычной схеме, а между R или C и первичной обмоткой транс-

форматора. Сопротивление R и емкость C выбираются таким образом, чтобы при холодных электродах напряжение между первичной обмоткой и R или C делилось пополам. Тогда на проводящую полосу будет подан потенциал, равный половине напряжения между электродами. По мере нагрева электродов, растет их сопротивление, соответственно меняется ток предварительного подогрева и напряжение перераспределяется между добавочными сопротивлениями и первичной обмоткой

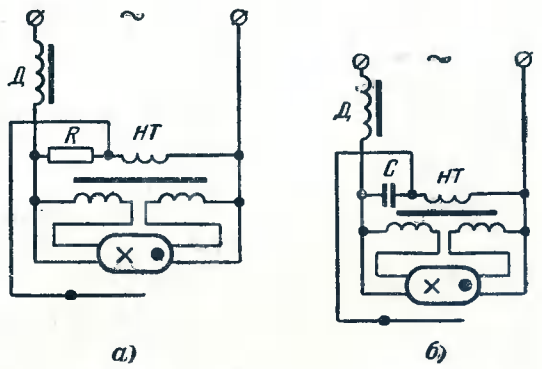


Рис. 21. Схемы зажигания ламп с подачей управляющего потенциала на проводящую полосу.

трансформатора. С изменением потенциала на проводящей полосе напряжение зажигания лампы снижается. В схеме на рис. 21,*б* перераспределение напряжения происходит главным образом за счет резонансных явлений. Момент зажигания лампы в рассматриваемых схемах определяется температурой ее электродов. В этих условиях вероятность холодных зажиганий лампы значительно снижена. Недостаток этих схем — сложность их настройки.

В светильниках наружного освещения нашли применение *комбинированные схемы* с использованием трансформатора или автотрансформатора с большим рассеянием и резонансного контура. На рис. 22,*а* показана одноламповая схема, а на рис. 22,*б* — двухламповая Резонансный контур состоит из части *Б* вторичной обмотки и конденсатора *С*, включенного между отводом от вторичной обмотки и одним сетевым проводом. Пер-

вичная обмотка отделена от вторичной магнитным шунтом.

По этим схемам промышленностью выпускались и находятся в эксплуатации ПРА для включения одной и двух ламп мощностью 80 *вт*. Эти аппараты экономичны, но имеют ограниченное применение из-за возможных холодных зажиганий ламп. Недостатком этих аппаратов являются также тяжелые условия работы конденсаторов, находящихся в период пуска под высоким напряжением.

Рассмотренные одноламповые бесстартерные схемы имеют те же недостатки в части пульсации светового потока, что и одноламповые стартерные. С целью снижения пульсации светового потока в многоламповых

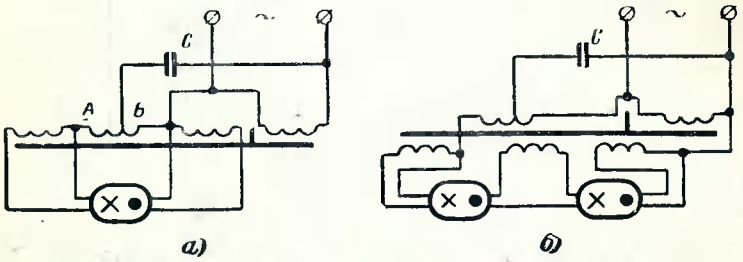


Рис. 22. Комбинированные схемы с использованием трансформатора или автотрансформатора с большим рассеянием.

светильниках желательно применение двухламповых ПРА. Это не относится к схемам с последовательным включением двух ламп.

На рис. 23 приведены *многоламповые схемы ПРА*, получившие наибольшее распространение в отечественной практике.

В схемах на рис. 23,*а* и *б*, используются свойства резонансного контура для зажигания двух последовательно включенных ламп. Одна из схем (рис. 23,*а*) является отстающей, а вторая—опережающей (рис. 23,*б*). Один из электродов каждой лампы последовательно включается во вторичную обмотку накального трансформатора, а его первичная обмотка одновременно выполняет роль дополнительного дросселя резонансной цепочки.

На рис. 23,*в* приведена отстающая схема последовательного включения двух ламп. Накальный трансфор-

142—2

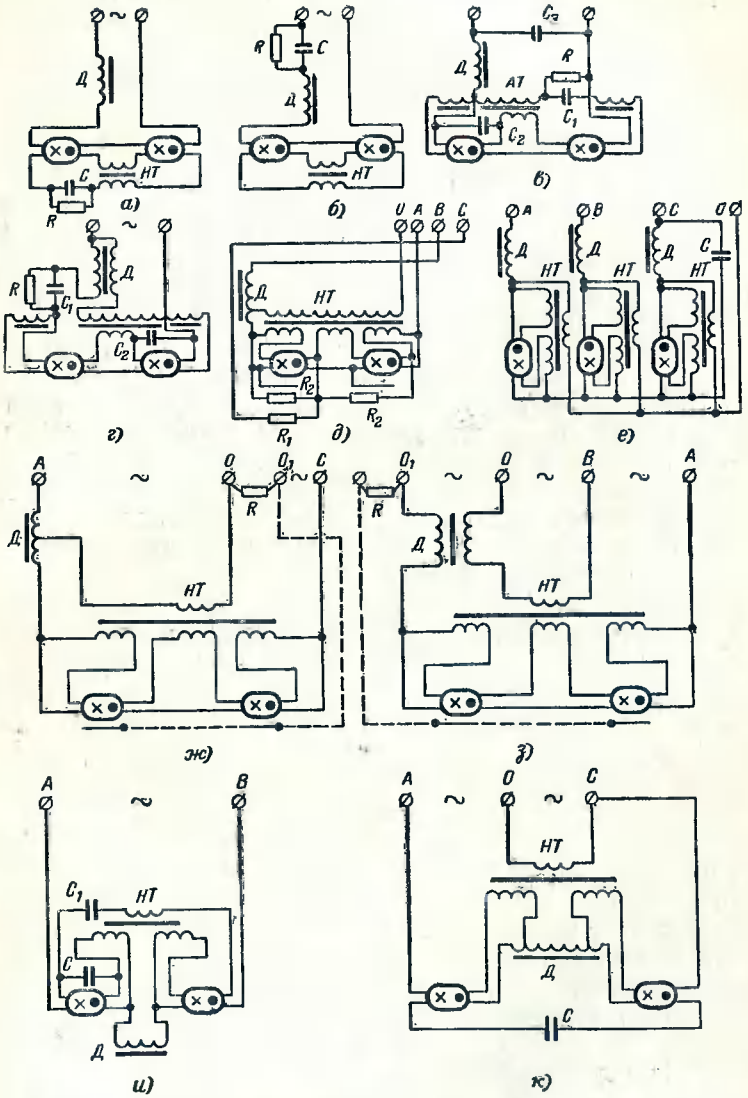


Рис. 23. Многоламповые бесстартерные схемы зажигания люминесцентных ламп.

матор имеет три накальные обмотки. Две обмотки используются для предварительного подогрева крайних электродов ламп, а третья осуществляет предварительный подогрев двух средних электродов ламп. Последовательно с первичной обмоткой накального трансформатора включена емкость C_1. Для подавления радиопомех параллельно одной из ламп и на входе схемы включены небольшие конденсаторы C_2. Конденсатор C_2, включенный параллельно одной из ламп, кроме того, определяет порядок зажигания ламп. Эта схема может быть использована для включения последовательно двух ламп мощностью 15 или 20 *вт*.

В опережающей схеме последовательного включения двух ламп (рис. 23,*г*) емкость включена между лампой и дросселем, а последовательно с первичной обмоткой накального трансформатора включена дополнительная обмотка, расположенная на балластном дросселе. Такая схема для включения одной лампы была рассмотрена выше.

Параллельно одной из ламп включен конденсатор C_2, перераспределяющий напряжение между лампами при их зажигании и тем самым определяющий порядок их зажигания.

Для последовательного включения двух ламп мощностью 40 или 80 *вт* в трехфазную сеть 380/220 *в* может быть использована схема, приведенная на рис. 23,*д*. Лампы включены последовательно на линейное напряжение сети, а накальный трансформатор имеет три накальные обмотки и питается фазным напряжением сети через часть обмотки балластного дросселя. Благодаря фазовому сдвигу обеспечивается повышение напряжения холостого хода ПРА, что позволяет отказаться от включения емкости в пусковую цепь. Это повышает надежность ПРА.

На рис. 23,*е* приведена схема трехлампового ПРА. Эта схема рассчитана на включение ламп в сеть 380/220 *в*. Все три лампы с балластными дросселями включены звездой в трехфазную сеть. Параллельно одной из ламп подключен конденсатор, который обеспечивает подачу на нулевую точку схемы напряжения одной из фаз. Благодаря этому в момент зажигания к лампам, подключенным к двум другим фазам, будет приложено линейное напряжение сети. После зажигания этих ламп третья лампа также окажется почти под линейным на-

пряжением и зажжется. Практически все эти лампы зажгутся почти одновременно. При горении ламп они будут находиться под фазным напряжением. Первичные обмотки накальных трансформаторов соединены звездой и присоединены к нулевому проводу системы. Так как эта схема дает повышенное значение напряжения холостого хода, то ее выгодно применять в установках наружного освещения.

На рис. 23,*ж* приведена схема двухлампового ПРА, используемая для последовательного включения ламп. Лампы включены на линейное напряжение 380 *в*. Накальный трансформатор включен через часть обмотки дросселя на фазное напряжение 220 *в*. Такое включение обеспечивает повышенное напряжение холостого хода, уменьшенный остаточный подогрев электродов и низкий уровень потерь мощности. В рабочем режиме подогрев электродов осуществляется током повышенной частоты в результате вычитания несинусоидального напряжения на дросселе из синусоидального напряжения сети. На рис. 23,*з* показан тот же вариант схемы, отличающийся от рассмотренного тем, что создается дополнительная групповая нейтраль. Эта схема используется для включения ламп высокой интенсивности мощностью 200 *вт*. Приведенные ПРА имеют низкий коэффициент мощности. На рис. 23,*и* и *к* даны схемы ПРА с компенсацией низкого коэффициента мощности. В первом случае компенсирующий конденсатор включен последовательно с первичной обмоткой накального трансформатора. Обе лампы и балластный дроссель включены на линейное напряжение. Во втором случае компенсирующий конденсатор включен параллельно с лампами, которые вместе с дросселем включены на линейное напряжение сети. Компенсирующий конденсатор также используется для обеспечения подогрева крайних электродов ламп. Накальный трансформатор включен на фазное напряжение сети. На дросселе размещены дополнительные обмотки, обеспечивающие компенсацию напряжения накала электродов ламп в рабочем режиме.

Схемы включения люминесцентных ламп мгновенного зажигания. Основным способом бесстартерного зажигания является предварительный подогрев катодов. Однако иногда применяется бесстартерное зажигание без предварительного подогрева катодов, так называемое холодное или мгновенное зажигание.

На рис. 24,*а* показана схема с автотрансформатором с большим рассеянием. Необходимое высокое зажигающее напряжение получается за счет соответствующего выбора коэффициента трансформации автотрансформатора. К лампе прикладывается напряжение 400—500 *в* (при напряжении сети 127 *в*) и она практически мгновенно зажигается. После зажигания лампы внутреннее сопротивления обмотки *Б* играет роль балластного дросселя. Напряжение на лампе снижается и становится равным ее рабочему напряжению.

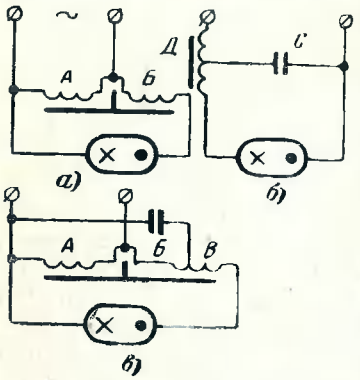


Рис. 24. Схемы мгновенного зажигания ламп.

Недостатком схемы являются большие размеры автотрансформатора, определяемые его большим коэффициентом трансформации, а также тем, что весь рабочий ток лампы проходит по его вторичной обмотке. Кроме того, потери мощности в автотрансформаторе довольно высоки и могут составить 30—40% мощности лампы.

На рис. 24,*б* показана обычная резонансная схема зажигания. Благодаря резонансному режиму на конденсаторе создается высокое зажигающее напряжение. Конденсатор в рабочем режиме несколько улучшает коэффициент мощности схемы.

Эта схема может быть использована для ламп, имеющих проводящую полосу.

На рис. 24,*в* показана комбинированная схема, сочетающая элементы резонансной схемы и автотрансформатора с большим рассеянием. Используя резонансные явления в контуре, образованном конденсатором *С* и частью обмотки *Б*, можно коэффициент трансформации автотрансформатора взять меньшим, чем в схеме рис. 24,*а*. Внутреннее сопротивление частей обмотки *Б* и *В* выполняет роль балласта. Секция *В* вторичной обмотки при горении лампы оказывается соединенной последовательно с конденсатором *С* и своей индуктивностью компенсирует вредное влияние параллельно включенной лампе емкости.

4. РАБОТА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП В СЕТЯХ С ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТОЙ

Питание люминесцентных ламп током повышенной частоты существенно изменяет характеристики ламп и технико-экономические показатели осветительных установок, повышая их эффективность. Поэтому в последние годы этому вопросу уделяется значительное внимание.

Проведенные исследования показали, что работа люминесцентных ламп в сетях с повышенной и высокой частотой в значительной мере отличается от работы ламп при частоте питающего тока 50 *гц*. Это различие обусловлено тем, что с повышением частоты питающего тока меняется характер физических процессов, протекающих в лампах при их зажигании и в рабочем режиме. Чем выше частота питающего напряжения, тем меньший промежуток времени занимает процесс перезажигания разряда в лампе. Поскольку пауза тока между погасанием и зажиганием разряда сильно сокращается (в пределе этот процесс происходит почти мгновенно), за время паузы тока электроды лампы не успевают остыть, а разрядный промежуток деионизироваться, что облегчает процесс перезажигания разряда. В результате этого пики перезажигания с ростом частоты уменьшаются, а в дальнейшем исчезают совсем. Кривая напряжения на лампе постепенно меняет свою форму и приближается к треугольной, меняется также характер кривой тока, которая становится почти синусоидальной.

С ростом частоты питающего напряжения увеличивается световая отдача ламп. Максимальный прирост световой отдачи ламп наблюдается в диапазоне от 400 до 1 000 *гц* и при дальнейшем повышении частоты световая отдача продолжает расти, но относительное ее увеличение замедляется. В пределах до 10 000 *гц* общее увеличение световой отдачи ламп по сравнению с ее значением при 50 *гц* может составить 10—25%. Увеличение световой отдачи ламп с повышением частоты можно объяснить тем, что при этом уменьшается анодно-катодное падение напряжения, происходит перераспределение энергии между отдельными участками разряда и за счет уменьшения приэлектродных потерь увеличивается мощность положительного столба разряда. Из этого положения следует сделать вывод, что для ламп

с одинаковым диаметром трубки, но разной мощности, т. е. разной длины, относительное увеличение световой отдачи будет различным. Действительно, для коротких ламп относительное увеличение световой отдачи будет большим, чем для длинных, так как в коротких лампах относительная доля приэлектродных потерь составляет больший процент по сравнению с ее значением в длинных лампах.

При повышении частоты свыше 600 *гц* пульсация светового потока ламп настолько уменьшается, что практически ее можно не учитывать. Отсутствие стробоскопического эффекта при высокочастотном разряде объясняется тем, что благодаря динамическому равновесию между процессами ионизации и деионизации в лампе имеется постоянный объемный заряд и, следовательно, не будут наблюдаться колебания интенсивности излучения во времени.

Световая отдача люминесцентных ламп при работе их на промышленной частоте зависит от типа балласта. При переводе питания ламп на повышенную частоту уже при частоте 400 *гц* тип балласта оказывает незначительное влияние на световую отдачу ламп, а при частотах свыше 600 *гц* она становится практически одинаковой для всех типов балластов. Это позволяет использовать в качестве балластного сопротивления емкость, так как исчезает ее основной недостаток — ухудшение формы кривой тока лампы.

При работе ламп на повышенной и высокой частоте увеличивается на 20—30% срок службы и замедляется спад светового потока в процессе срока службы.

Напряжение холодного зажигания ламп до частоты 800 *гц* остается почти таким же, как и при промышленной частоте. Однако с дальнейшим увеличением частоты наблюдается некоторое увеличение напряжения холодного зажигания, причем для ламп с проводящей полосой, не присоединенной к электроду, это увеличение начинается при меньшей частоте.

В схемах с предварительным подогревом катодов напряжение зажигания ламп с увеличением частоты до 1 000 *гц* увеличивается и при дальнейшем повышении частоты его рост несколько уменьшается. В случае ламп с проводящей полосой характер зависимости напряжения зажигания от частоты сохраняется, но величина относительного увеличения напряжения меньше. Воз-

можность повышения напряжения зажигания ламп в диапазоне частот до 10 000 *гц* следует учитывать при конструировании ПРА, так как при этом сокращается интервал между напряжением холодного зажигания ламп и напряжением зажигания лампы с предварительно подогретыми электродами, что затрудняет выбор напряжения холостого хода ПРА.

Важным экономическим фактором при питании люминесцентных ламп на повышенной и высокой частоте является существенное снижение веса ПРА и экономия в расходовании активных материалов на их изготовление. Уже при частоте 1 000 *гц* вес ПРА снижается до 30—40% от веса балласта на промышленной частоте. Также существенно уменьшаются, в 3—4 раза, потери активной мощности в ПРА.

При повышении частоты возникает необходимость перехода от обычно используемых для сердечников дросселей и трансформаторов электротехнических сталей на специальные ферромагнитные материалы, имеющие улучшенные магнитные характеристики: железо-никелевые сплавы или ферриты, что несколько повышает стоимость ПРА. Повышение частоты также требует применения специальных конденсаторов в схемах ПРА, в частности фторопластовых, так как даже бумажные конденсаторы, рассчитанные на работу в сети с повышенной частотой, например типа МБГЧ, снижают допустимое рабочее напряжение, что уменьшает надежность их работы.

При повышении частоты выше 400 *гц* стартеры не обеспечивают надежного зажигания люминесцентных ламп из-за уменьшения времени контактирования и невозможности получения достаточного по величине зажигающего импульса напряжения на лампе вследствие снижения индуктивности цепи. Поэтому в этом случае могут быть использованы только бесстартерные схемы зажигания ламп.

Для обеспечения питания сети напряжением повышенной или высокой частоты могут быть использованы три типа преобразователей частоты:

1) статический преобразователь частоты (умножитель частоты);

2) вращающийся или машинный преобразователь частоты;

3) полупроводниковый преобразователь частоты.

Статические преобразователи частоты [Л. 12] не позволяют получить достаточно высокие частоты, имеют ограниченную мощность, большой вес и размеры и хотя по сравнению с вращающимися преобразователями обладают рядом преимуществ, но не получили большого распространения как источники питания люминесцентных ламп.

Вращающиеся машинные преобразователи сравнительно недороги, достаточно надежны в работе, позволяют получать частоту не более 8 000 *гц*, но в силу ряда недостатков не могут быть рекомендованы для широкого применения в качестве источников питания. Основные их недостатки: относительно невысокий к. п. д., порядка 0,75, значительный вес и размеры, требующие для их размещения достаточно больших площадей, а также постоянного обслуживания эксплуатационным персоналом.

По сравнению с рассмотренными выше типами преобразователей наилучшими характеристиками обладает полупроводниковый преобразователь частоты. Это становится понятным, если рассмотреть общие требования, которые предъявляются к преобразователям. В преобразователе должны отсутствовать вращающиеся части, т. е. он должен быть статическим, что упрощает и удешевляет его эксплуатацию. Коэффициент полезного действия преобразователя должен быть наибольшим при всех изменениях нагрузки (количество включенных ламп) и он должен производить при своей работе как можно меньше шума, т. е. быть бесшумным. Последнее требование позволяет его устанавливать вблизи с нагрузкой, а это уменьшает длину высокочастотной сети и потери мощности в ней. Для лучшего согласования пусковых и рабочих режимов ламп и сохранения на необходимом уровне их срока службы преобразователь должен обладать высокой стабильностью частоты (допускаются отклонения не более чем на 1—2%) и иметь близкую к синусоидальной форме кривую силу тока в выходной цепи. При резком отключении нагрузки напряжение его выходной цепи не должно повышаться более чем на 15%. Наконец, он должен иметь минимальные размеры, вес и стоимость.

Блок-схема высокочастотной системы освещения приведена на рис. 25. Как видно из этой схемы, переменный ток промышленной частоты должен быть снача-

ла преобразован в постоянный ток с помощью выпрямителя. Далее постоянный ток при помощи инвертора преобразуется в переменный ток повышенной частоты и по высокочастотной распределительной сети подводится к люминесцентным лампам *ЛЛ*. Процесс преобразования постоянного тока в переменный называют инвертированием. Попытки отказаться от промежуточного преобразования переменного тока промышленной частоты в постоянный пока не дали положительных результатов и из-за наличия этого промежуточного элемента вся система освещения несколько усложняется.

Полупроводниковые преобразователи частоты — инверторы — могут иметь два варианта исполнения: индивидуальный преобразователь частоты, рассчитанный на питание одной-двух ламп и обычно встраиваемый в светильник, и групповой преобразователь, имеющий мощность 3—5 *квт* и более и рассчитанный на питание

Рис. 25. Принципиальная схема высокочастотной системы освещения.

группы ламп. Технико-экономическое сравнение этих двух вариантов показало, что для стационарных установок общего освещения помещений экономически не выгодно применять индивидуальный преобразователь небольшой мощности. Областью применения индивидуальных преобразователей частоты могут быть специальные автономные осветительные установки с небольшим числом люминесцентных ламп. Они также находят сейчас широкое применение в установках подвижного состава для освещения автобусов, троллейбусов и трамваев.

Приведенная выше схема питания высокочастотного освещения остается практически одинаковой как для индивидуальных преобразователей, так и для групповых. Некоторое отличие заключается в том, что при индивидуальных преобразователях по существу отсутствует высокочастотная распределительная сеть, так как она конструктивно объединена с самим преобразователем. Выпрямительное устройство обычно при системе инди-

видуального питания предусматривается одно на группу ламп и от него прокладывается групповая распределительная сеть постоянного тока, которая питает отдельные индивидуальные преобразователи.

При системе группового питания фактором, ограничивающим в значительной степени мощность группового преобразователя, становится протяженность высокочастотной распределительной сети. С ростом частоты увеличиваются потери мощности в распределительной сети. Поэтому в зависимости от протяженности и конфигурации распределительной сети определяют с экономической точки зрения, какая частота будет наивыгоднейшей в данном случае и какую мощность преобразователя следует взять при выбранной частоте. Имеющийся опыт показывает, что при размещении группового преобразователя вблизи распределительных пунктов его мощность должна быть до 10 *квт*, а частота питающего лампы напряжения не более 3 000 *гц*. При размещении преобразователя в групповой сети его мощность может быть выбрана порядка 1—5 *квт* и частота не более 10 000 *гц*.

В индивидуальных преобразователях частота ничем не ограничена и здесь из соображений уменьшения шума, создаваемого при работе преобразователя, целесообразно принимать частоту 15—20 *кгц* и более.

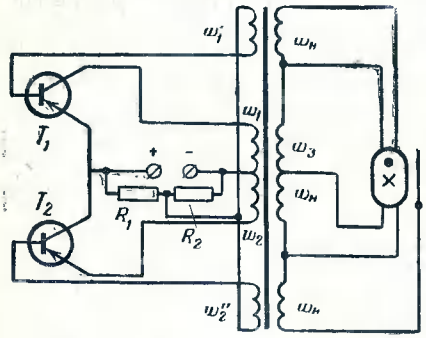


Рис. 26. Схема индивидуального полупроводникового преобразователя частоты.

Существует большое количество различных схем полупроводниковых преобразователей — инверторов. Рассмотрим одну из характерных схем индивидуального преобразователя (рис. 26) для питания одной люминесцентной лампы.

Инвертор собран на двух плоскостных триодах—транзисторах по двухтактной схеме (с работой полупроводниковых триодов можно подробно ознакомиться в [Л. 13]). Транзисторы включены по схеме с общим эмиттером. Действие схемы основано на работе транзисторов в так называемом режиме «ключа», когда под

142—1

влиянием управляющего сигнала они поочередно выполняют роль переключателей, открывая или закрывая доступ току. Сопротивления R_1 и R_2, включенные параллельно входу инвертора, образуют делитель напряжения, при помощи которого в момент подключения преобразователя к источнику питания на базу соответствующего триода подается отрицательное смещение, уменьшающее сопротивление его коллекторного перехода и облегчающего возбуждение колебаний. Выходной трансформатор с большим магнитным рассеянием, имеет две первичные обмотки w_1 и w_2, обмотки обратной связи w'_1 и w''_2, вторичную w_3, две накальные обмотки $w_н$, обеспечивающие предварительный подогрев катодов лампы, и «зажигающую» обмотку w_4. Трансформатор одновременно выполняет роль балласта люминесцентной лампы. После зажигания лампы напряжение на ней снижается до величины рабочего, что вызывает снижение напряжения на обмотке w_3, а следовательно, и на $w_н$, и ток подкала электродов лампы соответственно уменьшается. Коэффициент полезного действия такого преобразователя обычно составляет 0,7—0,75. Недостатком рассмотренной схемы инвертора является возможность пробоя транзисторов в запертом состоянии в результате появления перенапряжений на них в начале каждого полупериода. К недостаткам подобных схем также можно отнести необходимость иметь выходной трансформатор сравнительно больших размеров, сердечник которого изготавливается из пермаллоя или ему подобных материалов, что удорожает стоимость установки. Ко входу преобразователя должен быть подведен постоянный ток напряжением 25—40 *в*. Это заставляет иметь дополнительный понижающий трансформатор, включаемый между выпрямителями и сетью переменного тока. Наличие такого трансформатора снижает экономические показатели установки.

Примером схемы группового инвертора может служить разработанный на кафедре промышленной электроники Московского энергетического института полупроводниковый преобразователь мощностью 3,5 *квт* с выходной частотой 2 500 *гц* и к. п. д. 0,8. При напряжении в питающей сети 220/127 *в* выходное напряжение при номинальной нагрузке равно 130 *в*, а в период зажигания ламп напряжение на выходе составляет 130—150 *в*. Размеры преобразователя 500×1 400×300 *мм*.

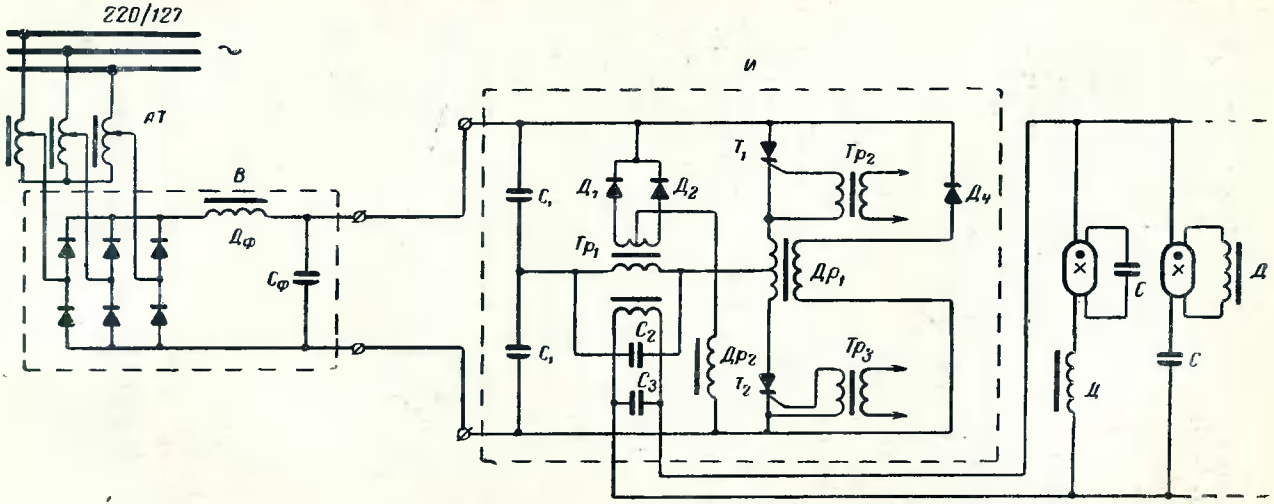


Рис. 27. Схема группового полупроводникового преобразователя частоты.

создаваемый ПРА. В качестве показателя уровня шума принято значение звуковой мощности, создаваемой аппаратами при изменении питающего напряжения в пределах 0,9—1,1 номинального. Кроме перечисленных выше требований, определяющих технические параметры ПРА, к ним предъявляются также требования, вытекающие из необходимости обеспечить безопасность и надежность работы аппаратов. К таким требованиям относятся величина сопротивления изоляции электрических цепей ПРА, их электрическая прочность, механическая прочность, а также допустимые расстояния между токоведущими и нетоковедущими деталями ПРА.

Технические требования к бесстартерным аппаратам. Общие требования, касающиеся значений коэффициента мощности, допустимых температур перегрева, уровней шума и радиопомех, формы кривой тока, электрической и механической прочности, остаются для бесстартерных аппаратов такими же, как и для стартерных ПРА.

Специфическими условиями для этого типа аппаратов являются требования, предъявляемые к созданию определенных условий на электродах ламп в пусковом и рабочем режимах. Эти технические требования приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные технические требования, предъявляемые к бесстартерным ПРА

Номинальная мощность ламп, *вт*	Напряжение накала в пусковом режиме, *в*		Напряжение накала в рабочем режиме, *в*	Напряжение холостого хода, *в*		Максимальный ток предварительного подогрева при $1{,}1\ U_н$, *а*
	При $0{,}9\ U_н$	При $1{,}1\ U_н$		минимальное на зажимах ламп (эффективное)	максимальное на зажимах ламп (амплитудное)	
20	8	10	4,4	170	345	0,65
30	8	10	4,4	205	400	0,63
40	8	10	4,4	205	400	0,75
80	8	10	4,4	220	400	1,6

В рабочем режиме в бесстартерных схемах электроды лампы постоянно обтекаются током подкала, на что потребляется некоторая мощность. Если эту дополнительную потерю мощности отнести к потерям в ПРА, то

световой поток данной лампы будет больше, чем при той же мощности лампы, но без подогрева. При отнесении дополнительной потери мощности в электродах к мощности лампы получается, что при том же световом потоке лампа как бы потребляет большую мощность.

Поэтому в бесстартерных схемах не принято оценивать световой поток лампы по величине мощности, потребляемой лампой. В этом случае приходится непосредственно измерять световой поток лампы, получаемый при включении ее с испытуемым ПРА, и по его величине делать вывод о пригодности аппарата.

Бесстартерное ПРА при включении его с номинальной лампой в сеть с номинальным напряжением должно обеспечивать световой поток не менее 0,9 и ток не более 1,15 от светового потока и тока, получающихся при включении номинальной лампы через ДОИ. При напряжении сети, лежащем в пределах от 0,9 до 1,1 номинального, световой поток номинальной лампы с испытуемым ПРА должен быть не менее 0,85 и ток не более 1,15 соответственно от светового потока и тока той же лампы, но включенной через ДОИ.

В бесстартерных аппаратах под аварийным режимом понимается один из следующих режимов, дающий наибольший перегрев его элементов при принятой схеме ПРА:

а) лампа горит, но отсутствует электрический контакт в цепях подогрева двух или более электродов;

б) один из электродов лампы оборван;

в) лампа не зажигается, хотя цепь подогрева электродов не повреждена.

Конструкция стартерных аппаратов. Основными элементами конструкции любого балластного устройства являются дроссели, трансформаторы и конденсаторы, соединенные соответствующим образом между собой. В зависимости от типа аппарата могут отсутствовать отдельные элементы, например трансформаторы или конденсаторы. В простейшем случае балластное устройство представляет собой один дроссель.

Дроссель или трансформатор состоит из сердечника или магнитопровода определенной конфигурации и обмоток.

По способу изготовления сердечники делят на пластинчатые и ленточные витые. Штампованные пластины могут быть различной конфигурации (рис. 34): Ш-образные, П-образные, прямоугольные пластинки разомкну-

того магнитопровода. Ленточные витые сердечники изготавливают тороидальной формы, а также Ш- и П-образной конфигурации. Выбор той или иной конфигурации сердечника и его конструкции зависит от мощности аппарата, частоты сети и его назначения. Сердечники могут изготавливаться с регулируемым и нерегулируемым воздушным зазором. Сердечник с нерегулируемым воздушным зазором отличается высоким постоянством своей характеристики, однако такая конструкция зазора предъявляет высокое требование к штамповке пластин,

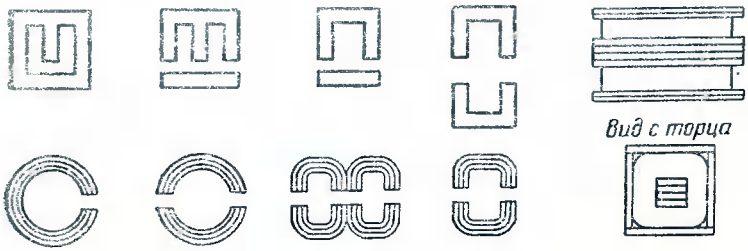


Рис. 34. Виды магнитопроводов ПРА.

так как необходимо очень точно выдержать размеры зазора. При нерегулируемом зазоре сердечник имеет неразъемную конструкцию и использование таких сердечников в производстве магнитных элементов малопроизводительно из-за высокой трудоемкости намотки катушек. При регулируемом зазоре корректировка параметров дросселя производится в процессе его регулировки перемещением замыкателя или отдельных частей сердечника.

Для изготовления сердечников дросселей или трансформаторов применяют электротехническую листовую сталь обычно толщиной 0,5 *мм*. При пластинчатой конструкции сердечника может быть использована горячекатаная или холоднокатаная сталь. Горячекатаная сталь марок Э31, Э32, Э41, Э42 и Э43, холоднокатаная сталь марок Э310, Э320 и Э330. Магнитные свойства горячекатаной и холоднокатаной стали различны. Холоднокатаная сталь по сравнению с горячекатаной имеет меньшие удельные потери мощности, бóльшую магнитную проницаемость и меньшую хрупкость, поэтому ее использование предпочтительнее горячекатаной. Следует также иметь в виду, что у холоднокатаной стали удель-

ные потери меньше и магнитные свойства лучше вдоль проката, чем поперек. Поэтому при раскрое пластин из холоднокатаной стали надо следить за тем, чтобы направление магнитного потока в сердечнике совпадало с направлением проката листа.

Для ленточных витых сердечников применяют холоднокатаную полосовую сталь различных марок (ХВП, 79НМ, 50НП, 65НП и др.).

Сердечники балластных дросселей обычно имеют воздушный зазор. Это вызвано следующим обстоятельством. Индуктивное сопротивление катушки со стальным сердечником (дросселя) зависит от величины тока, проходящего через катушку. При малой величине тока оно очень большое, а с увеличением тока индуктивность катушки падает.

Пусковой ток лампы при ее стартерном зажигании в 1,2—2,1 раза больше рабочего тока. В пусковом режиме индуктивность дросселя будет иметь наименьшее значение. До начала контактирования электродов стартера через дроссель проходит небольшой по величине ток тлеющего разряда, при котором индуктивность дросселя может оказаться слишком большой и это вызовет уменьшение тока тлеющего разряда и как следствие — затягивание процесса зажигания разряда. В рабочем режиме индуктивность дросселя должна быть такой, чтобы обеспечить номинальное значение тока лампы. При широких изменениях тока для обеспечения нормальной работы лампы индуктивное сопротивление дросселя должно оставаться практически неизменным, а это можно сделать в том случае, если индуктивное сопротивление дросселя почти не будет зависеть от величины тока, проходящего по его обмотке. В этом случае падение напряжения на дросселе изменяется почти пропорционально току, т. е. дроссель будет обладать линейной вольт-амперной характеристикой.

Для получения такой характеристики дросселя и предусматривается воздушный зазор в его сердечнике. Воздух имеет магнитное сопротивление в тысячу и более раз больше, чем сталь. Например, воздушный зазор шириной всего в 1 *мм* имеет такое же магнитное сопротивление, что и стальной участок магнитопровода равного сечения, но длиной в несколько тысяч миллиметров. Благодаря этому при наличии в сердечнике дросселя воздушного зазора магнитное сопротивление всего сердечника опре-

деляется главным образом магнитным сопротивлением воздушного участка и при изменении тока в катушке общее магнитное сопротивление сердечника остается почти неизменным. Изменяя величину воздушного зазора, мы тем самым меняем величину общего магнитного сопротивления сердечника и регулируем этим индуктивность дросселя.

Различают открытый и закрытый воздушный зазор. Если воздушный зазор находится вне катушки, то такой зазор называют открытым. Такое размещение воздушного зазора приводит к увеличению магнитного поля рассеяния, что усиливает шум, создаваемый сердечником. Для получения дросселей с пониженным уровнем шума необходимо применять закрытый воздушный зазор, когда он размещается внутри катушки.

По способу изготовления катушки дросселей и трансформаторов делятся на каркасные и бескаркасные, односекционные и многосекционные.

Изготавливаются катушки из алюминиевого обмоточного провода марки ПЭВА и медных обмоточных проводов марок ПЭЛ, ПЭВ-2 и ПЭТ.

В каркасных катушках провод наматывается на заранее изготовленный каркас в виде гильзы и боковых щечек из электротехнического картона. Бескаркасные катушки наматываются на специальную деревянную оправку, которая после окончания намотки катушки вынимается. Для изоляции каждого слоя обмотки друг от друга применяется межслоевая изоляция из одного-двух рядов кабельной или телефонной бумаги. Поверх обмотки укладывается внешняя изоляция из нескольких рядов кабельной или телефонной бумаги. Возможно применение других изоляционных материалов. Готовые катушки обмотки могут быть подвергнуты пропитке и лакировке изолирующими составами.

Рассмотрим конструкции стартерных балластных устройств, выпускаемых отечественной промышленностью. В табл. 5 представлены основные технические характеристики стартерных ПРА. Пускорегулирующие аппараты изготавливаются в одноламповом, двухламповом и трехламповом исполнении. Наибольшее распространение получили первые два исполнения.

Одноламповые ПРА. Эти аппараты предназначены для включения одной люминесцентной лампы. Аппарат типа 1УБИ представляет собой дроссель симметрирован-

Тип аппарата	Количество и мощность ламп, *вт*	Напряжение питающей сети, *в*	Рабочий ток, *а*	Коэффициент мощности	Потери в % от мощности ламп
1УБИ-4/127-НП-03	1×4	127	0,16	0,35	56
1УБИ-6/127-НП-03	1×6	127	0,15	0,35	42
1УБИ-8/127-НП-03	1×8	127	0,17	0,5	37
1УБЕ-8/127-ВН-03	1×8	127	0,17	0,5	38
2УБИ-8/220-НП-03	2×8	220	0,17	0,5	28
2УБИ-8/220-НП-04	2×8	220	0,17	0,5	33
2УБИ-8/220-ВП-04	2×8	220	0,17	0,5	43
1УБИ-13/220-НП-03	1×13	220	0,175	0,5	32
1УБЕ-13/220-ВН-03	1×13	220	0,175	0,5	37
1УБЕ-13/220-ВН-04	1×13	220	0,175	0,45	42
1УБИ-15/127-НП-03	1×15	127	0,3	0,5	20
1УБИ-15/127-НП-04	1×15	127	0,3	0,5	25
1УБИ-15/127-Н	1×15	127	0,3	0,5	22
1УБЕ-15/127-ВП-03	1×15	127	0,35	0,45	31
1УБЕ-15/127-ВП-04	1×15	127	0,35	0,5	28
1УБИ-20/127-НП-03	1×20	127	0,35	0,5	22
1УБИ-20/127-НП-04	1×20	127	0,35	0,5	22
1УБЕ-20/127-ВП-03	1×20	127	0,35	0,5	29
1УБЕ-20/127-ВП-04	1×20	127	0,35	0,5	32
1УБИ-20К/220-НП-03	1×20	220	0,35	0,35	41
2УБИ-20/220-НП-03	2×20	220	0,35	0,6	22
2УБИ-20/220-НП-04	2×20	220	0,35	0,5	23
2УБИ-20/220-НП-05	2×20	220	0,35	0,6	24
2УБЕ-20/220-ВП-04	2×20	220	0,35	0,5	23
1УБИ-30/220-НП-09	1×30	220	0,34	0,5	20
1УБИ-30/220-НП-09	1×30	220	0,34	0,5	20
1УБИ-30У/220-НП-03	1×30	220	0,35	0,5	18
1УБИ-40/220-НП-03	1×40	220	0,41	0,5	20
1УБИ-40/220-НП-04	1×40	220	0,41	0,5	21
1УБИ-40/220-НП-05	1×40	220	0,41	0,5	21
1УБИ-40/220-НП-06	1×40	220	0,41	0,5	22
1УБИ-40/220-НП-07	1×40	220	0,41	0,5	22
1УБИ-40/220-НП-08	1×40	220	0,41	0,5	21
1УБИ-40/220-НП-09	1×40	220	0,41	0,5	21
1УБЕ-40/220-ВП-03	1×40	220	0,41	0,5	24
1УБЕ-40/220-ВП-04	1×40	220	0,41	0,5	19
1УБЕ-40/220-ВП-05	1×40	220	0,41	0,5	24

Таблица 5

теристики стартерных ПРА

Обмотки						Электротехническая сталь		Вес обмоточных проводов, *кг*	Номинальная емкость конденсаторов, *мкф*
Отстающая ветвь		Трансформатор, опережающая ветвь		Пусковая обмотка					
Диаметр провода, *мм*	Количество витков	Диаметр провода, *мм*	Количество витков	Диаметр провода, *мм*	Количество витков	Расход, *кг*	Чистый вес, *кг*		
0,23	2 050	—	—	—	—	0,24	0,18	0,061	—
0,23	2 000	—	—	—	—	0,24	0,18	0,059	—
0,25	1 750	—	—	—	—	0,24	0,18	0,057	—
—	—	0,21	1 600	0,14	570	0,24	0,18	0,046	3
0,23	2 250	0,2	210**	—	—	0,29	0,28	0,096	—
0,2	2 394	0,16	350*	—	—	0,39	0,34	0,07	—
0,2	171	0,16	400**						
0,2	2 496	0,16	350*	—	—	0,39	0,34	0,075	2,6
0,2	384	0,16	400**						
0,27	2 150	—	—	—	—	0,29	0,28	0,11	—
—	—	0,25	2 150	0,18	430	0,29	0,28	0,08	1,5
—	—	0,23	2 300	0,14	570	0,35	0,3	0,08	1,5
0,38	1 300	—	—	—	—	0,29	0,28	0,13	—
0,38	1 800	—	—	—	—	0,29	0,24	0,14	—
0,38	1 760	—	—	—	—	0,34	0,27	0,16	—
—	—	0,35	1 250	0,18	300	0,27	0,26	0,13	5
—	—	0,35	1 350	0,35	374	0,34	0,27	0,13	6
0,38	1 230	—	—	—	—	0,29	0,28	0,12	—
0,38	1 730	—	—	—	—	0,34	0,2	0,14	—
—	—	0,35	1 230	0,18	250	0,27	0,26	0,13	6
—	—	0,35	1 350	0,35	374	0,34	0,27	0,13	6
0,33	1 830	0,35	95**	—	—	0,48	0,42	0,21	—
0,47	1 490	0,47	138**	—	—	0,65	0,63	0,09***	—
0,35	1 970	0,25	310*	—	—	0,64	0,43	0,17	—
		0,25	280**	—	—				
0,38	1 610	0,38	143**	—	—	0,43	0,4	0,19	—
0,35	1 666	0,25	750*	—	—	0,68	0,43	0,18	4
		0,25	205**	—	—				
0,38	1 600	—	—	—	—	0,41	0,39	0,16	—
0,38	1 560	—	—	—	—	0,52	0,45	0,15	—
0,38	1 600	—	—	—	—	0,48	0,42	0,16	—
0,38	1 560	—	—	—	—	0,47	0,45	0,16	—
0,49	1 320	—	—	—	—	0,65	0,63	0,09***	—
0,47	1 650	—	—	—	—	0,47	0,45	0,09***	—
0,47	1 540	—	—	—	—	0,6	0,55	0,09***	—
0,35	1 650	—	—	—	—	0,68	0,57	0,13	—
0,47	2 064	—	—	—	—	0,58	0,52	0,095***	—
0,38	1 560	—	—	—	—	0,47	0,45	0,16	—
—	—	0,38	1 560	0,31	365	0,47	0,43	0,19	4
—	—	0,47	1 320	0,44	285	0,7	0,63	0,09***	4
—	—	0,47	1 650	0,44	350	0,63	0,56	0,09***	4

Тип аппарата	Количество и мощность ламп, *вт*	Напряжение питающей сети, *в*	Рабочий ток, *а*	Коэффициент мощности	Потери в % от мощности ламп
1УБЕ-40/220-НП-06	1×40	220	0,41	0,5	26
1УБЕ-40/220-ВН-08	1×40	220	0,41	0,5	24
1УБЕ-40/220-ВН-09	1×40	220	0,41	0,5	24
1УБИ-40У/220-НП-03	1×40	220	0,43	0,5	21
2УБИ-40/220-ВП-04	2×40	220	0,41	0,5	22
2УБИ-40/220-Н	2×40	220	0,41	0,5	18
2УБИ-40/220-Н	2×40	220	0,41	0,5	18
2УБК-40/220-АВП-03	2×40	220	0,41	0,92	24
2УБК-40/220-АВП-04	2×40	220	0,41	0,9	20
2УБК-40/220-Н	2×40	220	0,41	0,97	20
2УБК-40/220-Н	2×40	220	0,41	0,97	20
2УБК-40/220-ВП	2×40	220	0,41	0,97	21
1УБИ-80/220-ВП-03	1×80	220	0,82	0,5	20
1УБИ-80/220-Н	1×80	220	0,82	0,5	18
1УБИ-80/220-ВП	1×80	220	0,82	0,5	15
1УБИ-80/220-НП	1×80	220	0,82	0,5	18
1УБЕ-80/220-ВП-03	1×80	220	0,82	0,5	24
1УБЕ-80/220-НП	1×80	220	0,82	0,5	20
1УБЕ-80/220-ВП	1×80	220	0,82	0,5	18
2УБИ-80/220-ВП-03	2×80	220	0,82	0,5	20
2УБК-80/220-АВП-03	2×80	220	0,82	0,92	17
2УБК-80/220-АВП	2×80	220	0,82	0,9	16
3УБИ-80/3×380/220-АН	3×80	380/220	0,9	—	15

Примечание. Обмотки дросселей выполнены медным проводом марки ПЭВ

* Первичная обмотка трансформатора.
** Вторичная обмотка трансформатора.
*** Обмотка выполнена алюминиевым проводом.

ной конструкции, т. е. он состоит из двух секций с одинаковым числом витков. При Ш-образной форме сердечника обе секции дросселя размещаются на среднем стержне; при П-образной форме—каждая секция размещена на одном из боковых стержней сердечника. Для ламп мощности 8 и 15 *вт* при П-образной форме сердечника между замыкателем и стержнями магнитопровода образуется воздушный зазор, регулировка которого осуществляется путем установки в зазоре соответствующего количества картонных прокладок. После регулировки зазора сердеч-

Продолжение табл. 5

Обмотки						Электротехническая сталь		Вес обмоточных проводов, *кг*	Номинальная емкость конденсаторов, *мкф*
Отстающая ветвь		Трансформатор, опережающая ветвь		Пусковая обмотка					
Диаметр провода, *мм*	Количество витков	Диаметр провода, *мм*	Количество витков	Диаметр провода, *мм*	Количество витков	Расход, *кг*	Чистый вес, *кг*		
—	—	0,44	1 300	0,44	400	0,7	0,6	0,082***	4
—	—	0,44	1 809	0,44	603	0,51	0,46	0,092***	4
—	—	0,38	1 530	0,31	365	0,49	0,47	0,19	4
0,38	1 600	—	—	—	—	0,48	0,42	0,16	—
0,49	2 900	—	—	—	—	1,87	1,56	0,218***	—
0,47	3 400	—	—	—	—	1,78	1,46	0,17***	—
0,51	3 260	—	—	—	—	2,2	1,58	0,19***	—
0,47	1 630	0,44	1 255	0,44	440	1,57	1,35	0,173***	4
0,55	1 620	0,49	1 526	0,49	570	1,87	1,57	0,248***	4
0,47	1 700	0,47	1 240	0,47	440	1,78	1,46	0,168***	4
0,55	1 630	0,51	1 290	0,51	440	2,2	1,58	0,21***	4
0,55	1 620	0,49	1 400	0,49	570	1,7	1,52	0,245***	4
0,74	1 670	—	—	—	—	1,22	0,99	0,22***	—
0,69	1 240	—	—	—	—	1,7	1,53	0,16***	—
0,57	1 278	—	—	—	—	1,33	1,23	0,31	—
0,69	1 250	—	—	—	—	1,25	1,1	0,16***	—
—	—	0,67	1 210	0,67	230	1,09	0,88	0,16***	7,6
—	—	0,69	1 195	0,69	225	1,3	1,05	0,16***	7,8
—	—	0,59	1 135	0,59	227	1,33	1,23	0,35	7,6
0,77	2 140	—	—	—	—	3,22	2,47	0,37***	—
0,74	1 120	0,74	1 000	0,74	286	3,1	2,5	0,37***	8
0,74	1 000	0,74	900	0,74	260	3,0	2,7	0,36***	8
0,8	1 050	—	—	—	—	6,7	4,5	0,66	12

или алюминиевым проводом марки ПЭВА.

ник стягивается стальной шпилькой. Для ламп мощностью 20 *вт* и более сердечник может быть выполнен в виде двух П-образных секций, расположенных встык, с воздушным зазором между ними. Величина воздушного зазора регулируется также с помощью установки в нем картонных или бумажных пропитанных эпоксидным клеем прокладок. Обе части магнитопровода скреплены между собой надетыми на боковые стержни катушками и дополнительных крепежных деталей не требуется.

За последнее время большое распространение в про-

изводстве ПРА получил так называемый разомкнутый магнитопровод. Такой магнитопровод отличается тем, что он изготавливается из отдельных штампованных или нарезанных прямоугольных пластин из холоднокатаной электротехнической стали марки Э-310 или Э-320 толщиной 0,5 *мм* или 0,35 *мм*, набираемых в пакеты. В ряде

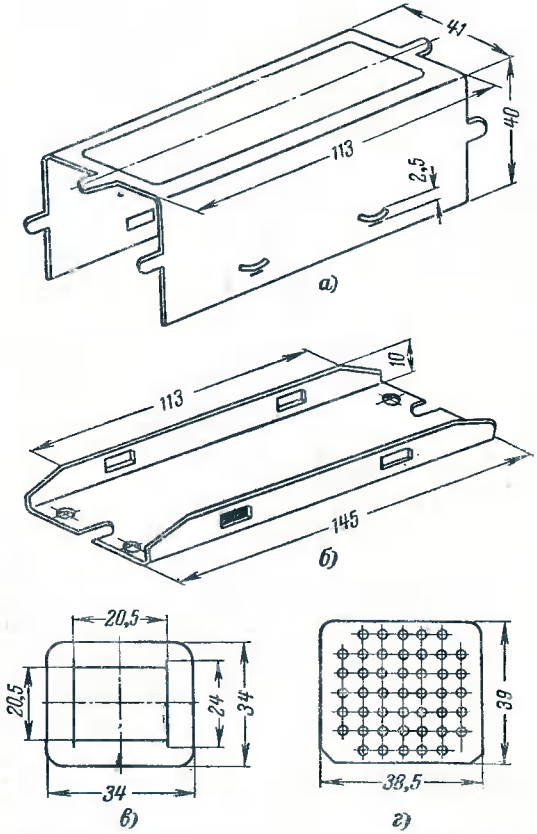


Рис. 35. Унифицированные детали ПРА, разработанные Киевским опытным заводом пускорегулирующей аппаратуры.

случаев используется также горячекатаная электротехническая сталь.

В качестве торцевого замыкателя между центральным стержнем, на котором размещена обмотка дросселя, и боковыми пластинками, образующими ярмо, вводится

ферромагнитная добавка в виде частиц мягкой стали, мелкой металлической стружки, чугунной пыли и т. п. с размером частиц 1—10 *мм*³. Введение магнитной добавки в зазор, с одной стороны, уменьшает его величину, а с другой стороны, позволяет осуществить регулировку балластного устройства путем изменения количества магнитной добавки.

Применение разомкнутого магнитопровода и унифицированных узлов и деталей позволило создать Киевскому опытному заводу пускорегулирующей аппаратуры единую серию малогабаритных ПРА к люминесцентным лампам различной мощности.

Аппарат состоит из следующих унифицированных деталей: кожуха (рис. 35,*а*), крышки (рис. 35,*б*), защитной

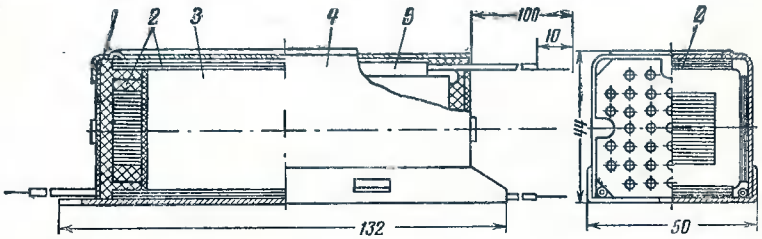


Рис. 36. Конструкция балластного устройства типа 2УБИ-40/220-НП-03.

1 — пластина торцевая защитная; *2* — пластина разомкнутого магнитопровода; *3* — катушка; *4* — кожух; *5* — трубка изоляционная.

шайбы (рис. 35,*в*) и торцевой пластинки (рис. 35,*г*). На рис. 36 показана конструкция аппарата с разомкнутым магнитопроводом.

Процесс изготовления аппарата сравнительно несложен. Из заранее изготовленных пластин из электротехнической стали собирают пакет центрального сердечника дросселя. Количество пластин и их размеры зависят от типа аппарата. Собранный пакет обертывают семью слоями кабельной бумаги К-120 или телефонной бумаги толщиной 0,05 *мм*. Вместо телефонной бумаги можно использовать электроизоляционную намоточную бумагу ЭН-50. Пакет устанавливают в специальную оправку намоточного станка и наматывают на него обмотку. В зависимости от типа аппарата на центральный стержень может быть нанесена одна или несколько секций обмотки. Между секциями прокладывается изоляция в шесть слоев

из телефонной или кабельной бумаги, и вся обмотка дросселя также изолируется в четыре слоя кабельной бумагой. После намотки катушку обжимают до нужных размеров при помощи специального приспособления на гидравлическом прессе. Этот процесс очень важен, так как он обеспечивает получение необходимых размеров катушки, а также при этом уплотняется центральный сердечник магнитопровода, что определяет уровень шума, создаваемый ПРА. К концам обмотки присоединяются методом скрутки с последующей пайкой выводные концы обычно из провода марки ПМВГ. На выводные провода надевается полихлорвиниловая трубка, закрепляемая тафтяной лентой.

Сборка аппарата начинается с укладки на дно кожуха пакета пластин, составляющих наружное ярмо магнитопровода. Далее в кожухе размещается готовая катушка, а по бокам и сверху устанавливают остальные пакеты наружного магнитопровода и аппарат закрывают крышкой. На торец катушки надевают защитную шайбу и с одной стороны производят засыпку заранее заготовленного и отвешенного количества обсечки от гвоздей и других частиц мягкой стали. После засыпки аппарат закрывается торцевой пластинкой с отверстиями.

Настройка аппарата на рабочий ток осуществляется изменением количества магнитной добавки, засыпаемой с другой стороны аппарата. Аппарат включают в измерительную схему и по величине рабочего тока судят о правильности настройки аппарата. После настройки аппарата его второй торец также закрывается пластинкой с отверстиями. Далее аппарат подвергают пропитке термореактивным компаундом на основе эпоксидной смолы ЭД-6 и дибутилфталата. Перед пропиткой аппарат сушат в течение 30—40 *мин* при температуре 60—70° в сушильном шкафу. Пропитку желательно вести в вакууме, так как это улучшает качество пропитки. После пропитки ПРА надо дать возможность стечь компаунду и затем аппарат подвергается сушке в течение 24 *ч* при температуре 20—40° С или помещается в сушильный шкаф с температурой 80—100° С на 1,5—2 *ч*, в течение которых происходит полимеризация компаунда.

После сушки гибкие соединительные выводы зачищаются от компаунда и на аппарат наклеивается этикетка. Готовые аппараты подвергаются проверке в соответствии с требованиями ГОСТ.

В аппаратах, изготовляемых Рижским светотехническим заводом, также используется магнитопровод разомкнутой конструкции с замыкателем в виде частиц мягкой стали, засыпаемых в торцы аппарата. Отличие этих аппаратов заключается в конструкции корпуса ПРА, который состоит из стального пластинчатого основания и штампованной крышки, приваренной к основанию. Пускорегулирующий аппарат снабжается выводными зажимами. Для обеспечения влагостойкости и лучшего теплоотвода дроссель в кожухе заливается смесью песка и компаунда марки КП. Для тропического исполнения применяется компаунд марки КГСМ-1. На рис. 37 показана конструкция такого ПРА.

В аппаратах, изготовляемых предприятиями Всероссийского общества слепых, применены торцевые шунты из трансформаторной стали в алюминиевой обойме. Регулировка дросселя осуществляется с помощью прокла-

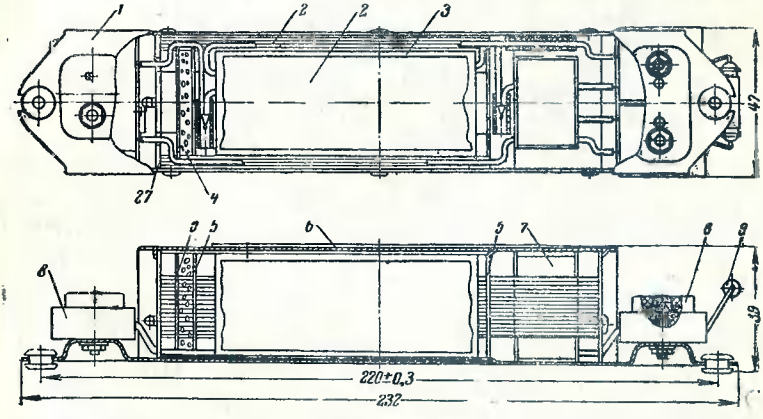


Рис. 37. Конструкция балластного устройства типа 1УБЕ-40/220-ВП.
1 — крышка; *2* — пластина разомкнутого магнитопровода; *3* — катушка; *4* — металлический наполнитель; *5* — прокладка; *6* — кожух; *7* — трансформатор; *8* — колодка зажимов; *9* — конденсатор.

док электрокартона, помещаемых в воздушный зазор. Положение торцевых шунтов фиксируется двумя регулировочными винтами в торцевых стенках кожуха аппарата. Готовый дроссель помещается в штампованный металлический кожух и заливается смесью песка и компаунда марки МБК.

В аппаратах, рассчитанных на включение ламп мощностью 15 и 20 *вт*, имеющих номинальное напряже-

ние 127 *в*, в сеть с напряжением 220 *в*, применен автотрансформатор на Ш-образном сердечнике. Автотрансформатор размещен в том же кожухе, что и дроссель.

Аппарат типа 1УБЕ отличается от аппарата типа 1УБИ тем, что последовательно с дросселем включается конденсатор, емкость которого зависит от мощности лампы и в цепь стартера включена компенсирующая или пусковая обмотка (см. рис. 11). Эта обмотка размещается вместе с обмоткой дросселя. Конденсаторы обычно устанавливаются отдельно от дросселя в виде специального блока, соединенного с блоком дросселя гибкими проводами.

Аппарат типа 1УБК представляет собой описанный выше индуктивный дроссель и дополнительный блок конденсаторов, включаемых параллельно вводным зажимам схемы. Емкость конденсаторов определяется мощностью лампы. Включение этих конденсаторов повышает коэффициент мощности комплекта ПРА — лампа до 0,9 вместо 0,5 для обычного балластного устройства типа 1УБИ.

Двухламповые ПРА. Для включения двух ламп могут быть использованы два одноламповых ПРА. Если оба балластных устройства взяты типа 1УБИ, то в такой двухламповой схеме не будет снижаться пульсация светового потока, создаваемая лампами. Поэтому для уменьшения влияния пульсации светового потока на зрительные функции глаза необходимо светильники с такими ПРА включать в разные фазы питающей трехфазной сети. С этой точки зрения лучше при использовании в двухламповых светильниках одноламповых ПРА применять один аппарат типа 1УБИ, а второй — 1УБЕ.

Промышленность выпускает специальные двухламповые ПРА трех типов: 2УБИ, 2УБК и 2УБЕ.

В аппаратах типа 2УБИ для ламп мощностью 8 и 20 *вт*, имеющих номинальное напряжение 127 *в*, применено последовательное их включение (см. рис. 14,*б*) с трансформатором накала для предварительного подогрева двух электродов. Для ламп мощностью 8 и 20 *вт* применен разомкнутый магнитопровод. Трансформатор накала имеет Ш-образный магнитопровод, замыкатель которого одновременно является и замыкателем одного торца дросселя. Второй торец дросселя имеет засыпку из частиц мягкой стали, используемой для регулирования ПРА. Дроссель и трансформатор помещаются в метал-

лический кожух и заливаются смесью песка и компаунда КП или пропитываются компаундом КБ-6-102 на основе эпоксидной смолы ЭД-6 и дибутилфталата. Конструкция подобного аппарата приведена на рис. 38. В аппаратах типа 2УБЕ для ламп мощностью 8 и 20 *вт* последовательно с дросселем включены конденсаторы

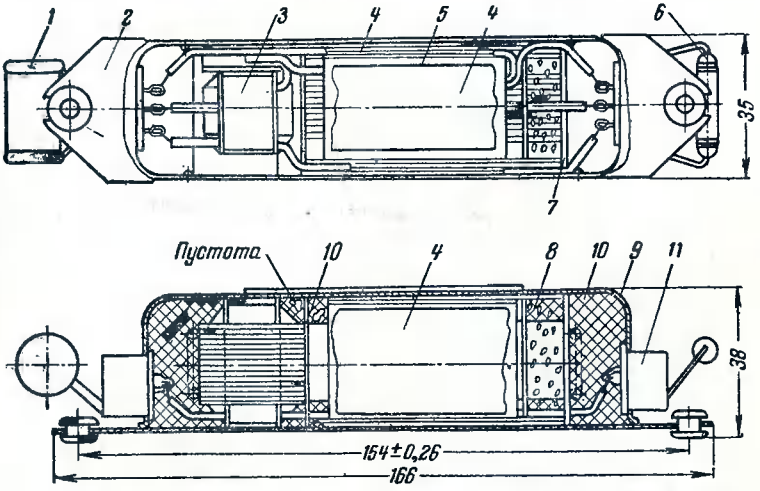


Рис. 38. Конструкция балластного устройства типа 2УБИ-8/220-ВП.
1 — конденсатор; *2* — крышка; *3* — трансформатор; *4* — пластина разомкнутого магнитопровода; *5* — катушка; *6* — конденсатор; *7* — боковина; *8* — металлический наполнитель; *9* — кожух; *10* — лак КП с песком; *11* — колодка зажимов.

емкостью соответственно 1,5 и 4 *мкф*. Конденсаторы образуют отдельный блок, соединенный гибким проводом с дросселем.

Аппарат типа 2УБИ для 40-ваттных ламп (рис. 39) конструкции Рижского светотехнического завода представляет собой два дросселя, собранных на объединенно-разомкнутом магнитопроводе с нерегулируемым воздушным зазором. Возможность объединения магнитных систем двух соседних дросселей определяется тем, что на общих участках магнитопровода не имеет место сложение магнитных потоков отдельных дросселей. Это позволяет не увеличивать сечение этих участков. Объединение магнитных систем двух дросселей позволяет уменьшить на 10—12% расход электротехнической стали по сравнению с обычными П- и Ш-образными сердечниками. Так же как и при установке двух аппаратов типа 1УБИ, в

балластном устройстве типа 2УБИ не будет снижаться пульсация светового потока, создаваемого лампами, и схема имеет низкий коэффициент мощности.

В аппарате 2УБК используется схема с расщепленной фазой (см. рис. 13) Конструкция магнитопровода аппарата аналогична аппарату типа 2УБИ. Для ламп мощ-

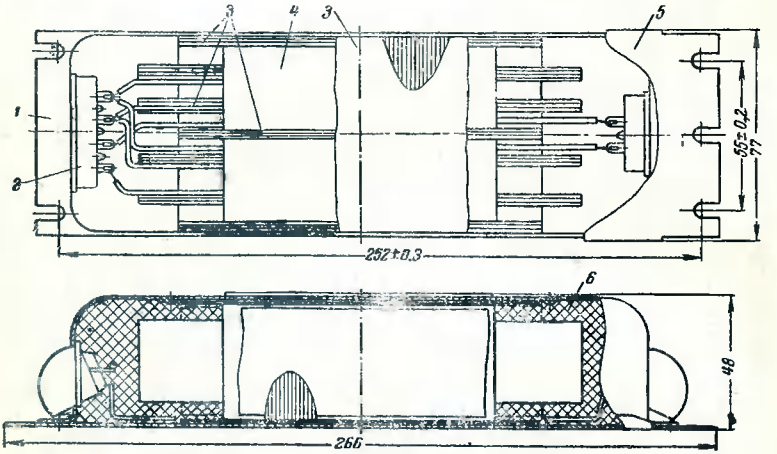


Рис. 39. Конструкция балластного устройства типа 2УБИ-40/220-В.
1 — кожух; *2* — колодка зажимов; *3* — пластина разомкнутого магнитопровода; *4* — катушка; *5* — крышка; *6* — лак КП с песком.

ностью 80 *вт* в аппарате, изготовляемом на предприятиях Всероссийского общества слепых, использован сборный магнитопровод, состоящий из отдельных прямоугольных стержней, образующих при сборке П-образный магнитопровод. После регулировки дросселей части магнитопровода стягиваются соединительной шпилькой. Конденсаторы, включаемые последовательно с дросселем в опережающей ветви, во всех типах таких аппаратов образуют отдельный блок, соединенный с дросселями гибкими проводами.

Во всех типах балластных устройств используются бумажные герметизированные конденсаторы марки КБГ-МН 600 *в*. Необходимо иметь в виду, что емкость каждого конденсатора может отклоняться от номинального значения. В зависимости от величины отклонения фактической емкости конденсатора от ее номинального значения различают три класса их точности. Для балластных устройств обычно применяют конденсаторы

II класса точности, у которых допускается отклонение емкости от номинального значения на ±10%. Реже используются конденсаторы I класса точности с допустимыми отклонениями по емкости на ±5%. Для аппарата типа 2УБК изменение емкости даже в таких небольших пределах меняет параметры опережающей ветки балластного устройства. Поэтому на заводе-изготовителе приходится производить разбраковку конденсаторов по их фактической емкости на три группы и для каждой группы устанавливать соответствующее количество витков дросселя опережающей ветви.

Трехламповые ПРА. Для включения трех ламп могут быть использованы три одноламповых ПРА либо комбинация из двухлампового и однолампового ПРА.

Рижский светотехнический завод выпускает специальный ПРА, рассчитанный на включение трех ламп мощностью по 80 *вт*. Аппарат представляет собой трехфазный симметрированный дроссель, соединенный в звезду. Магнитопровод изготовлен в виде пятистержневого сердечника, состоящего из двух половин с нерегулируемым воздушным зазором между ними. На двух крайних и среднем стержнях размещаются дроссельные катушки, а два свободных стержня между катушками обеспечивают путь для замыкания уравнительных магнитных потоков, которые возникают при несимметричной работе аппарата (когда горит одна или две лампы). Для повышения коэффициента мощности ПРА дополнительно включаются три конденсатора, соединенные между собой треугольником. Пакет магнитопровода стягивается металлической обоймой, а обе половины сердечника — металлическими скобками. Дроссель помещается в стальной кожух и заливается смесью песка с компаундом марки КП.

Конструкция бесстартерных аппаратов. В настоящее время отечественная промышленность приступила к серийному выпуску бесстартерных ПРА для включения одной, двух и трех люминесцентных ламп. Различают аппараты по отстающей, опережающей и компенсированной схемам. Основные технические характеристики бесстартерных ПРА приведены в табл. 6.

Одноламповые ПРА. Аппарат типа 1АБИ в зависимости от мощности лампы изготовляется по двум схемам: для ламп мощностью 20 и 30 *вт* по схеме рис. 18,*а*, а для ламп мощностью 40 и 80 *вт* по схеме рис. 20,*а*. Для сни-

Тип балластного устройства	Количество и мощность ламп, *вт*	Напряжение сети, *в*	Рабочий ток, *а*	Коэффициент мощности	Дроссель	
					Диаметр провода, *мм*	Количество витков
1	2	3	4	5	6	7
1АБИ-20/220-ВП-03	1×20	220	0,41	0,35	0,35	2 072
1АБИ-20/220-ВП-03	1×20	220	0,41	0,34	0,35	2 120
2АБИ-20/220-ВП-03	2×20	220	0,41	0,5	0,31	1 550
2АБЕ-20/220-ВП-03	2×20	220	0,41	0,6	0,31	1 800
					0,31	1 200
1АБИ-30/220-ВП-03	1×30	220	0,43	0,4	0,38	1 690
1АБИ-40/220-ВП-04	1×40	220	0,41	0,5	0,47	1 507*
1АБИ-40/220-ВП-041	1×40	220	0,45	0,5	0,47	1 507*
1АБИ-40/220-ВП	1×40	220	0,45	0,5	0,38	1 704
1АБИ-40/2×380/220-В-04	1×40	380/220	0,43	0,5	0,47	1 507*
					0,31	95
1АБЕ-40/220-ВП-04	1×40	220	0,41	0,5	0,47	1 530*
					0,47	1 450*
1АБЕ-40/220-ВП	1×40	220	0,41	0,5	0,47	1 450*
					0,12	1 530
1АБК-40/2×380/220-ВП-04	1×40	380/220	0,23	0,95	0,47	1 507*
2АБИ-40/2×380/220-В-06	2×40	380/220	0,43	0,5	0,49	2 000*
2АБК-40/2×380/220-В-06	2×40	380/220	0,28	0,9	0,49	2 000*
2АБК-40/380-ВП-04	2×40	380	0,41	0,9	0,55	1 870*
1АБИ-80/220-В-03	1×80	220	0,86	0,5	0,74	1 000*
1АБЕ-80/220-В-03	1×80	220	0,92	0,5	0,74	1 100*
					0,74	1 385*
1АБК-80/2×380/220-В-06	1×80	380/220	0,45	0,9	0,69	1 100*
3АБИ-80/3×380-АВ	3×80	380	0,45	0,5	0,74	1 287*

Таблица 6

теристики бесстартерных ПРА

Накальный трансформатор				Вес обмоточного провода, *кг*	Электротехническая сталь		Емкость конденсаторов, *мкф*		
Первичная обмотка		Накальные обмотки							
Диаметр провода, *мм*	Количество витков	Диаметр провода, *мм*	Количество витков		Расход, *кг*	Чистый вес, *кг*	Балластный	В первичной обмотке трансформатора	Помехоподавляющих
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,1	2 700	0,23	195	0,21	0,58	0,43	—	—	0,047 0,0047
0,1	2 700	0,23	180	0,18	0,5	0,44	—	—	0,047 0,0047
0,2	2 500	0,29 0,29	97 194	0,17	0,85	0,71	—	1,25	0,01 0,047
0,2	1 650	0,29 0,29	216 108	0,19	0,85	0,69	3	—	0,01 0,047
0,1	2 400	0,25	170	0,188	0,69	0,55	—	—	0,047 0,0047
0,12	2 150	0,25	105	0,081* 0,03	0,73	0,69	—	1	0,047 0,0047
0,12	2 500	0,25	150	0,082* 0,05	0,82	0,73	—	—	0,047
0,12	3 000	0,25	285	0,2	0,66	0,55	—	—	0,05 0,047
0,12	2 200	0,25	135	0,08* 0,29	0,74	0,69	—	—	—
0,12	1 300	0,25	120	0,08* 0,04	0,74	0,69	4	—	0,047 0,0047
0,12	1 800	0,25	125	0,07* 0,037	0,6	0,55	2,4	—	0,047 0,0047
0,23	760	0,23	105	0,08* 0,03	0,74	0,69	—	2	0,047
0,14	1 500	0,25 0,25	87 175	0,134* 0,038	1,33	1,25	—	—	—
0,12	2 200	0,25	127	0,129*	1,13	1,05	3,8	—	—
0,35	250	0,35	125	0,14* 0,06	1,33	1,25	3,8	—	0,05
0,2	2 400	0,35	60	0,173* 0,09	2,08	1,36	—	1	0,047
0,2	1 500	0,35	92	0,156* 0,114	2,08	1,36	8	—	0,047 0,0047
0,31	450	0,31	60	0,144* 0,037	1,33	1,25	—	3,8	—
0,2	850	0,35 0,35	54 108	0,5* 0,13	7,13	5,54	—	—	—

Тип балластного устройства	Количество и мощность ламп, *вт*	Напряжение сети, *в*	Рабочий ток, *а*	Коэффициент мощности	Дроссель	
					Диаметр провода, *мм*	Количество витков
1	2	3	4	5	6	7
2АБИ-125/380/220-В-03	2×125	380/220	2,0	0,6	1,3	724*
2АБИ-150/2×380/220-В-03	2×150	390/220	1,9	0,5	1,3	1 000*
2АБИ-200/2×380/220-В-03	2×200	380/220	3,3	0,5	0,35 1,81	800 540*

* Обмотка выполнена алюминиевым проводом.

жения уровня радиопомех, создаваемых комплектом лампа — ПРА, в аппаратах для ламп мощностью 20—30 и 40 *вт* параллельно лампе включен конденсатор типа БМТ-1 емкостью 4 700 *пф* ±20%, а на входе ПРА конденсатор типа БМТ-1 емкостью 0,047 *мкф* ±20%, 400 *в*. Включение этих двух конденсаторов в схему ПРА обеспечивает получение пониженного уровня радиопомех и позволяет применять эти аппараты в административно-общественных и жилых помещениях. Для ламп мощностью 80 *вт* применен один помехоподавляющий конденсатор на входе ПРА марки КБГ-И-2, 400 *в*, емкостью 0,05 *мкф* ±20%.

В ПРА для ламп мощностью 40 и 80 *вт* в первичную обмотку трансформатора накала включен конденсатор емкостью 1 *мкф* ±5% марки КБГ-МН-2, 1 000 *в*. Все конденсаторы шунтированы разрядными сопротивлениями марки ВС.

Пускорегулирующие аппараты представляют собой комбинацию дросселя и трансформатора накала. Дроссель изготовлен на магнитопроводе разомкнутой конструкции, один торец которого замыкается сердечником трансформатора, а второй торец используется для на-

Продолжение табл. 6

Накальный трансформатор				Вес обмоточного провода, *кг*	Электротехническая сталь		Емкость конденсаторов, *мкф*		
Первичная обмотка		Накальные обмотки							
Диаметр провода, *мм*	Количество витков	Диаметр провода, *мм*	Количество витков		Расход, *кг*	Чистый вес, *кг*	Балластный	В первичной обмотке трансформатора	Помехоподавляющих
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,33	1 075	0,74	56	0,4*	4,0	3,7	—	—	—
		0,74	28	0,25					
0,33	1 075	0,74	56	0,53*	3,3	3,0	—	—	—
		0,74	28	0,25					
0,35	850	0,93	51	0,65*	3,3	3,0	—	—	—
		0,93	30	0,25					

стройки ПРА с помощью засыпки из частиц мягкой стали (рис. 40).

Трансформатор набран из Ш-образных и прямоугольных пластин. В аппаратах для ламп мощностью 20 и 30 *вт* обмотка дросселя изготовлена из медного провода марки ПЭВ или ПЭТВ, а для ламп мощностью 40 и 80 *вт* из алюминиевого провода марки ПЭВА. Обмотки трансформатора во всех случаях изготовлены из медного провода марки ПЭВ. Дроссель и трансформатор помещены в металлический кожух и залиты смесью кварцевого песка с компаундом марки КП или АСТ-Т либо могут быть пропитаны эпоксидным компаундом марки ЭД-5 или ЭД-6. Для включения в схему аппарат снабжен колодками зажимов. Конденсаторы образуют отдельный блок и соединены с ПРА гибким проводом. Аппараты могут использоваться в помещениях с температурой окружающего воздуха до 35° С и относительной влажностью не более 75%. Конструкция аппарата типа 1АБИ-80/220-ВП показана на рис. 41.

В аппаратах типа 1АБЕ для ламп мощностью 20, 30 и 40 *вт* применена схема по рис. 20,*б*, а для ламп мощностью 80 *вт* — схема по рис. 20,*в*. Метод снижения уров-

ня радиопомех в этих аппаратах аналогичен применяемому в аппаратах типа 1АБИ. Конструкция этих аппаратов ничем не отличается от аппаратов типа 1АБИ. Пускорегулирующий аппарат представляет собой два блока: один — дроссель-трансформатор и второй — блок конденсаторов, соединенный с первым гибким проводом.

Аппараты типа 1АБК (см. рис. 20,*д*) предназначены для включения лампы мощностью 40 и 80 *вт* в трехфазную сеть переменного тока 380/220 *в* с нулевым проводом. Последовательно с накальным трансформатором включен конденсатор для повышения коэффициента мощности, поэтому эти аппараты относятся к группе компенсированных. В пусковом режиме на лампу подается линейное напряжение сети, чем достигается повышение пускового напряжения.

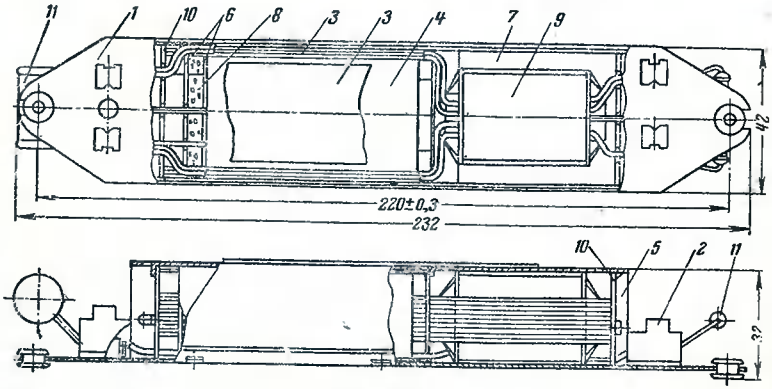


Рис. 40. Конструкция бесстартерного балластного устройства типа 2АБИ-40/220-ВП.

1 — крышка; *2* — колодка зажимов; *3* — пластина разомкнутого магнитопровода; *4* — катушка; *5* — кожух; *6* — прокладка; *7* — лак КП с песком; *8* — металлический наполнитель; *9* — трансформатор; *10* — боковина; *11* — конденсатор.

В рабочем режиме лампа питается фазным напряжением сети. За счет этого уменьшается остаточное напряжение на электродах лампы в рабочем режиме и, кроме того, полное размагничивание накального трансформатора в рабочем режиме обеспечивает хорошую форму тока через лампу, что способствует повышению ее срока службы и уменьшению пульсации создаваемого ею светового потока.

Конструктивно аппарат не отличается от уже рассмотренных аппаратов типа 1АБИ.

Двухламповые аппараты. Для включения двух ламп могут быть использованы два одноламповых аппарата типа 1АБИ либо комбинация из двух аппаратов типа 1АБИ и 1АБЕ. Выпускаются также двухламповые аппараты типов 2АБИ, 2АБЕ и 2АБК. В аппаратах типа 2АБИ для ламп мощностью 20 *вт* применена схема их последовательного включения (см. рис. 23,*а*). Для снижения уровня радиопомех, создаваемых ПРА, параллельно одной из ламп включен конденсатор типа БМТ-1 емкостью

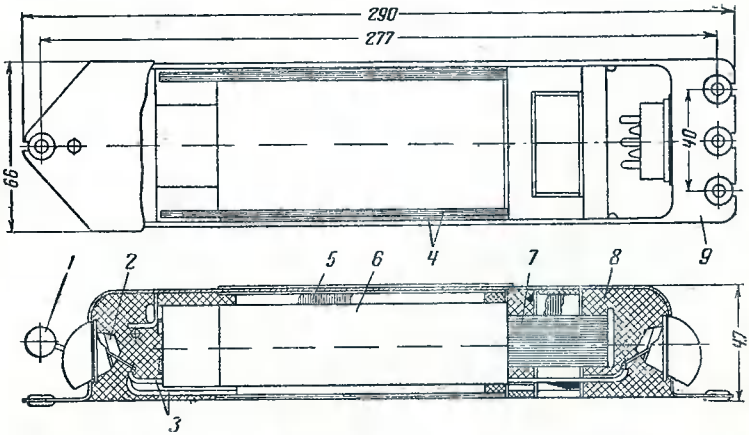


Рис. 41. Конструкция бесстартерного балластного устройства типа 1АБИ-80/220-ВП.

1 — конденсатор; *2* — колодка зажимов; *3* — трубка изоляционная; *4* — пластина разомкнутого магнитопровода; *5* — электроизоляционный состав; *6* — катушка; *7* — трансформатор; *8* — кварцевый песок с лаком КП; *9* — кожух.

0,01 *мкф* ±20%, 600 *в*, а на входе аппарата конденсатор типа БМТ-1 емкостью 0,047*мкф*±20%, 400 *в*.

В первичную обмотку трансформатора накала включены конденсаторы типа КБГ-МН емкостью 1 и 0,25 *мкф* ±8%, напряжением 600 *в*. Эти аппараты можно применять в административно-общественных и жилых помещениях при температуре до 35° С и относительной влажности не более 75%.

Дроссели изготовляются на разомкнутом магнитопроводе, один торец которого замыкается сердечником трансформатора накала. Магнитопровод трансформатора имеет Ш-образную конструкцию. Обмотки дросселя и трансформатора изготовлены из медного провода

марки ПЭТВ. Дроссель и трансформатор помещается в металлический кожух, засыпается кварцевым песком и заливается компаундом. Аппарат снабжен колодками зажимов для включения в схему светильника. Конденсаторы образуют отдельный блок.

В аппаратах для ламп мощностью 40 и 80 *вт* применены схемы последовательного включения ламп на линейное напряжение, обеспечивающие их включение в трехфазную сеть с напряжением 380/220 *в* (см. рис. 23,*д*, *ж* и *з*). При включении этого аппарата в сеть необходимо строго следить за обеспечением правильного порядка чередования фаз в соответствии с фазировкой, указанной на схеме.

Конструкция аппарата аналогична уже рассмотренной конструкции аппарата типа 2АБИ.

По уровню радиопомех, создаваемых этим ПРА, он может эксплуатироваться в промышленных помещениях.

Промышленностью начато освоение выпуска новых высокоинтенсивных люминесцентных ламп мощностью 125, 150 и 200 *вт*. Эти лампы предназначены для бестартерного зажигания.

Для включения таких ламп в сеть разработаны и выпускаются опытные партии аппаратов типа 2АБИ. Схемы включения ламп приведены на рис. 23,*ж* и *з*. Для ламп применены схемы их последовательного включения в сеть 380/220 *в* с общим накальным трансформатором. Дроссель выполнен на разомкнутом магнитопроводе, а накальный трансформатор имеет Ш-образный сердечник. Настройка дросселя осуществляется в процессе изготовления аппарата путем изменения зазора между торцами пакетов магнитопровода. После настройки аппарат заливается компаундом КБ-6-102. Аппараты предназначены для эксплуатации в промышленных и административно-общественных зданиях с нормальной средой при температуре окружающего воздуха от 10 до 35° С и относительной влажности не более 75%.

В аппарате типа АБЕ для двух ламп мощностью 20 *вт* использована схема последовательного включения ламп и дросселя с дополнительной обмоткой (см. рис. 23,*г*). Последовательно с балластной обмоткой дросселя включены соединенные параллельно конденсаторы типа КБГ-МН емкостью 2 и 1 *мкф* ±10%, напряжением 600 *в*.

Конструктивно эти аппараты аналогичны аппаратам типа 2АБИ.

Трехламповые аппараты. Включение трех ламп можно осуществить с помощью трех одноламповых ПРА, используя один одноламповый и один двухламповый аппараты. Помимо этого промышленностью выпускаются специально трехламповые ПРА. Аппарат типа 3АБИ представляет собой комбинацию трех одноламповых ПРА, связанных общим магнитопроводом. При этом образуется так называемая объединенно-разомкнутая система магнитопровода, когда каждый дроссель выполнен на разомкнутом сердечнике и в то же время имеются общие участки магнитной цепи, по которым замыкается суммарный магнитный поток, создаваемый всеми тремя дросселями. Применение такой конструкции магнитопровода сокращает расход активных материалов. В ПРА имеются три независимых накальных трансформатора с сердечником из Ш-образных и прямоугольных пластин. Одна из сторон сердечника каждого трансформатора служит замыкателем для соответствующего дросселя. Обмотка дросселей изготовлена из алюминиевого провода марки ПЭВА, а для обмотки трансформаторов использован медный обмоточный провод марки ПЭЛ.

Дроссели и трансформаторы помещаются в металлический кожух, засыпаются кварцевым песком и заливаются компаундом. Пускорегулирующий аппарат снабжен колодками зажимов для включения в схему светильника.

Все рассмотренные бесстартерные ПРА обеспечивают зажигание люминесцентных ламп с проводящей полосой или проводящим покрытием. Однако эти аппараты могут быть использованы для зажигания обычных ламп, не имеющих токопроводящей полосы, при условии установки их в металлические заземленные светильники и питании от сети 380/220 *в*.

Переделка стартерного аппарата в бесстартерный. На практике может возникнуть необходимость переделки стартерного зажигания ламп не бесстартерное. Это может быть осуществлено с помощью специальных приставок, которые позволяют без замены основного стартерного ПРА перейти на бесстартерную схему зажигания. Такая переделка находящихся в эксплуатации светильников при сравнительно небольших затратах дает возможность повысить надежность осветительной установки и в ряде случаев экономически оправдано.

Промышленность выпускает два типа приставок: одноламповые типа 1ПБЗ-40/220 и двухламповые типа 2ПБЗ-40/220, предназначенные для совместного включения соответственно со стартерными ПРА 1УБИ-40/220 и 2УБК-40/220-А.

Одноламповая приставка представляет собой накальный трансформатор, в первичную обмотку которого последовательно включен конденсатор типа КБГ-МН 0,5 *мкф*, 1 000 *в*. Магнитопровод трансформатора Ш-образный, обмотки изготовлены из медного провода.

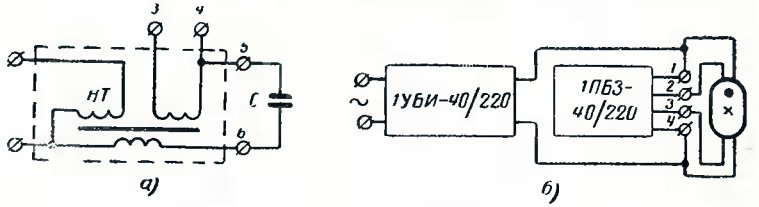


Рис. 42. Одноламповая приставка для переделки стартерных ПРА в бесстартерный.

Трансформатор помещен в пластмассовый корпус, залит битумом и снабжен колодками зажимов. Электрическая схема и схема включения приставки приведены на рис. 42.

Двухламповая приставка состоит из двух отдельных накальных трансформаторов, включаемых параллельно лампам опережающей и отстающей ветвей. Последовательно с первичной обмоткой отстающей ветви включен конденсатор типа КБГ-МН 0,5 *мкф*, 1 000 *в*. Для защиты

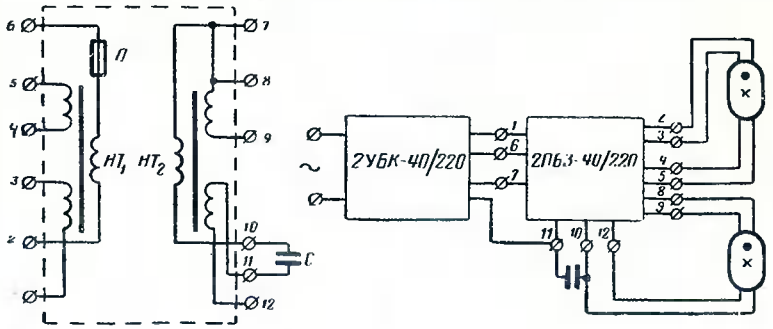


Рис. 43. Двухламповая приставка для переделки стартерного ПРА в бесстартерный.

первичной обмотки накального трансформатора опережающей ветви от перегрузки при несимметричном горении лампы последовательно с ней включен плавкий предохранитель. Трансформаторы помещены в пластмассовый корпус, залиты битумом и снабжены колодками зажимов. Электрическая схема и схема включения приставки совместно со стартерным ПРА приведены на рис. 43.

С помощью описанных приставок можно обеспечить бесстартерное зажигание лампы мощностью 40 *вт* с токопроводящей полосой или обычных стандартных ламп, установленных в металлический заземленный светильник, питающийся от сети 380/220 *в*.

7. ПРОВЕРКА И УСТРАНЕНИЕ НЕПОЛАДОК В РАБОТЕ ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИХ АППАРАТОВ

Надежная работа осветительной установки с люминесцентными лампами во многом определяется правильным подбором и тщательной проверкой всех ее элементов в процессе монтажа, соблюдением правил эксплуатации осветительных установок и своевременным выявлением и устранением неисправностей электрооборудования. Исходя из этого, электромонтерам, ведущим монтаж и эксплуатацию установок с люминесцентными лампами, необходимо уметь проводить испытания и проверку пускорегулирующих аппаратов.

На монтаже и в эксплуатационных условиях ограничиваются проверкой основных характеристик, определяющих работоспособность и пригодность аппарата для включения в сеть с люминесцентной лампой данного типа. Часто проверка ПРА сводится только к установлению исправности аппарата без выявления его характеристик. Такая задача может возникнуть, например, в процессе определения причин неисправности светильника, когда требуется быстро выявить элемент, вышедший из строя.

Внешний осмотр. По паспортным данным ПРА устанавливают возможность использования данного типа аппарата.

При осмотре зажимных устройств необходимо обращать внимание на наличие контактных винтов, их антикоррозийного покрытия, отсутствие сколов и повреждений пластмассового корпуса. Затем проверяют надеж-

ность закрепления монтажных проводов: одножильный медный провод сечением 2,5 *мм*^{2} закрепляют поочередно в каждом зажиме и проверяют на выдергивание десятикратным натяжением и ослаблением. При закреплении в зажиме проводник не должен иметь глубоких надсечек или срезов.

При наличии выводных гибких проводов необходимо проверить отсутствие в них обрывов.

Должно быть проверено наличие маркировки на зажимах или выводных проводах. Проверяют закрепление заземляющего проводника в зажиме для заземления, антикоррозийное покрытие на зажиме и его контактную поверхность.

Проверка правильности внутренних соединений схемы аппарата. Для выполнения этой проверки нужно иметь контрольные лампы со щупами или зажимами на конце и источник питания — штепсельные розетки с напряжением 127 и 220 *в*. Проверку желательно проводить универсальным прибором (авометр) типа ТТ-1, ТТ-2 или АВО-5.

Рассмотрим метод проверки схемы на примере однолампового и двухлампового балластного устройства.

Балластный симметрированный дроссель. Перед проверкой соединяют конец одной и начало второй секций дросселя. Для дросселей на 15 и 20 *вт* контрольная лампа должна иметь мощность 75—100 *вт*, а для дросселей на 30, 40 и 80 *вт* лампа берется мощностью 100—150 *вт*.

Один вывод дросселя соединяют с одним полюсом источника питания. Ко второму полюсу источника питания присоединяют контрольную лампу. Щупом лампы касаются вывода дросселя, соединенного с одним полюсом источника питания и замечают степень накала контрольной лампы. Затем щуп лампы присоединяют к свободному выводу дросселя. При этом лампа должна гореть примерно вполнакала, что показывает на исправность дросселя. Если накал контрольной лампы не снижается, то это говорит о коротком замыкании в обмотке или выводах дросселя. Отсутствие накала лампы указывает на обрыв провода обмотки.

При проверке дросселя авометром он включается так же, как и контрольная лампа, но при этом его источник питания должен быть отключен. Отсчет производят по шкале напряжений.

Одноламповое балластное устройство (1УБК) может быть выполнен по отстающей или опережающей схемам.

При отстающей схеме между сетевыми зажимами может быть включена компенсирующая емкость (рис. 44). В начале каждая цепь проверяется контрольной лампой или авометром, для чего к одному из зажимов цепи подключают один полюс источника питания. В соответствии со схемой прибора к выходному зажиму цепи подключают контрольную лампу, наличие накала на которой показывает целостность проверяемой обмотки. При использовании для этой цели авометра посторонний источник питания не требуется, так как проверка цепей может быть выполнена на постоянном токе от аккумуляторной батарейки, установленной в приборе.

Контрольная лампа, включенная последовательно между одним зажимом источника питания и сетевым зажимом *1* или *2*, должна гореть вполнакала. Горение в полный накал показывает, что пробит компенсирующий конденсатор. Включение контрольной лампы к зажимам *3* или *4* дает почти полный ее накал, так как в этом случае дроссель и емкость оказываются соединенными последовательно и их общее сопротивление благодаря взаимной компенсации будет почти равно нулю. Если контрольная лампа при таком включении горит вполнакала, то следовательно, пробит конденсатор или имеется короткое замыкание в секции дросселя. Отсутствие накала показывает на обрыв обмотки дросселя.

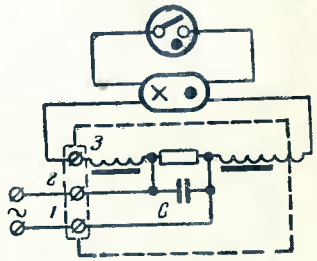


Рис. 44. Монтажная электрическая схема однолампового балластного устройства по отстающей схеме.

При опережающей схеме (рис. 45) конденсаторы могут быть либо вынесены из корпуса, либо установлены внутри него.

Перед проверкой аппарата необходимо замкнуть зажим *3* с зажимами *4*, *5* или *6*. Контрольная лампа, подключенная к зажиму *1* или *2* (конденсатор вынесен из корпуса аппарата), при исправном балластном дросселе будет гореть вполнакала. Далее замыкают зажим *3* с зажимом *5*, зажим *4* с зажимом *6*. Если конденсатор

установлен внутри корпуса аппарата, то контрольная лампа, подключенная к зажиму *1* или *2*, будет гореть с несколько сниженным накалом против полного. Слабый накал лампы при таком включении свидетельствует о пробое конденсатора. При конденсаторе, вынесенном из корпуса аппарата, и исправном аппарате лампа при

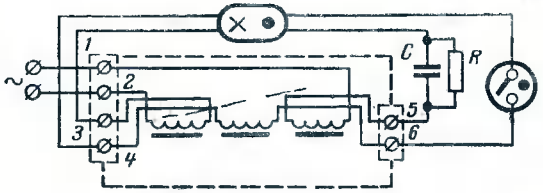


Рис. 45. Монтажная электрическая схема однолампового балластного устройства по опережающей схеме.

таком включении горит с небольшим накалом. Когда конденсатор установлен вне корпуса, необходимо его проверить: включить контрольную лампу между зажимом *3* и свободным выводом конденсатора. При исправном конденсаторе контрольная лампа горит с пониженным накалом. В противном случае следует считать, что конденсатор пробит.

Двухламповое балластное симметрированное устройство проверяется аналогичным образом. Проверку ведут отдельно для отстающей и опережающей ветки. Сначала проверяют отстающую ветвь. Затем проверяют опережающую ветвь, так же как это описано для однолампового балластного устройства по опережающей схеме.

Определение сопротивления изоляции. Следует различать два вида испытаний: проверка целости изоляции отдельных элементов аппарата и определение сопротивления изоляции токоведущих частей по отношению друг к другу, а также к корпусу аппарата.

Проверка целости изоляции может быть произведена контрольной лампой или авометром. Для этого один полюс сети или авометра присоединяют к корпусу аппарата, затем щупом контрольной лампы, присоединенной ко второму полюсу сети, или контрольным проводам авометра поочередно касаются соответствующих выводных за-

жимов аппарата. Отсутствие накала контрольной лампы или показаний авометра свидетельствует о целости изоляции соответствующей цепи аппарата.

Измерение сопротивления изоляции производят мегомметром на 500 *в* постоянного тока. Один полюс мегомметра присоединяют к корпусу аппарата или одной из цепей аппарата, а второй конец — к испытуемой цепи. В течение 1 *мин* удерживается напряжение, приблизительно равное 500 *в*. По шкале прибора определяют величину сопротивления изоляции. Оно должно быть не менее 20 *Мом* в холодном состоянии. Аппарат с недостаточной величиной сопротивления изоляции не может быть допущен к установке.

Электрическая прочность изоляции элементов балластных устройств проверяется испытательной высоковольтной установкой. Испытательное напряжение прикладывается между испытуемыми элементами аппарата и удерживается в течение 1 *мин*. В начале испытания устанавливается примерно половина заданной величины напряжения. Это напряжение удерживается несколько минут и, если не произошло пробоя изоляции, быстро увеличивается до заданного значения. Через 1 *мин* действия полного испытательного напряжения оно отключается от испытуемой цепи. Аппараты должны выдерживать в холодном состоянии испытательное напряжение 1 500 *в*, частотой 50 *гц*. При проведении этого испытания не допускается перекрытия изоляторов, разрушения изоляционных материалов, утечки пропитки или наполнителя. К проведению этого испытания могут быть допущены лица, прошедшие специальный инструктаж и имеющие допуск.

Проверка стартеров тлеющего разряда на надежность работы контактов. Стартер включают в сеть последовательно с контрольной лампой мощностью 15—25 *вт* и напряжением, равным номинальному напряжению стартера. Если стартер исправен, то через 2—3 *сек* лампа начнет мигать, так как электроды стартера будут периодически замыкать и размыкать цепь. Отсутствие мигания лампы показывает на неисправность стартера.

Определение напряжения зажигания стартера. Цепь, составленную из последовательно соединенных контрольной лампы и стартера и параллельно включенного вольтметра, присоединяют к автотрансформатору. Медленно поднимают напряжение автотрансформатором и замеча-

ют по вольтметру напряжение, при котором начинается замыкание электродов стартера (лампа начинает мигать). Если напряжение зажигания стартера окажется равным или ниже рабочего напряжения, обусловленного для данного типа люминесцентной лампы, то такой стартер не может быть использован в установке.

Проверка правильности внутренних соединений схемы бесстартерного аппарата. Схема бесстартерного аппарата гораздо сложнее стартерного, поэтому необходимо тщательно изучить его принципиальную и монтажную схемы.

Контрольной лампой или авометром проверяют цепи аппарата, так же как это описано для стартерных аппаратов.

Возьмем для примера аппарат с последовательным соединением лампы. Его монтажная схема имеет вид, показанный на рис. 46.

Контрольная лампа, подключенная последовательно между одним зажимом источника питания и зажимами

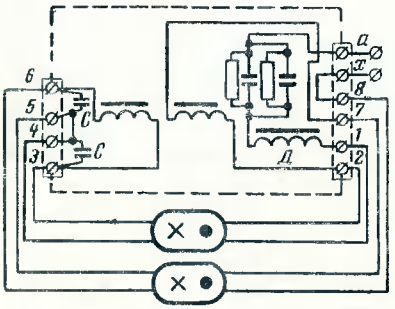


Рис. 46. Монтажная электрическая схема бесстартерного аппарата для последовательного включения двух ламп.

а или *1*, при исправной цепи будет гореть вполнакала. При пробое одного из конденсаторов суммарная емкость уменьшается и лампа будет гореть слабым накалом. Подключение контрольной лампы к зажимам *2* или *х* должно дать некоторое снижение ее накала. Отсутствие снижения накала показывает на наличие короткого замыкания в первичной обмотке накального трансформатора. Также проверяют вторичную обмотку НТ, подключая лампу к зажимам *3* и *6*.

Проверка целости изоляции, измерение сопротивления изоляции и испытание ее электрической прочности производят так же, как для стартерных балластных устройств.

Основное правило эксплуатации аппаратов сводится к регулярному наблюдению, своевременному ремонту и устранению обнаруженных неполадок в работе. Поскольку обнаружить неисправность ПРА в процессе эксплуатации можно только по режиму горения ламп, то необходимо регулярно вести журнал эксплуатации, в котором отмечать необходимые данные о режиме работы осветительной установки (время горения ламп, смена ламп, смена стартеров и ПРА, ремонт элементов светильников и др.).

Общими правилами эксплуатации устанавливаются определенные сроки чистки светильников. Эти сроки зависят от характера помещений, в которых они эксплуатируются. Во время чистки светильника необходимо проверить состояние контактных частей, целость изоляции электрических цепей между собой и по отношению к корпусу светильника. Все обнаруженные неполадки немедленно устранить. Не реже 1 раза в год необходимо проводить проверку величины сопротивления изоляции всех электрических цепей светильника между собой и по отношению к корпусу.

На работу ПРА и ламп оказывает сильное влияние напряжение в питающей сети. При значительном понижении напряжения от номинального (свыше 10%) лампы могут не зажигаться. При повышении напряжения срок службы ламп сокращается.

Особенно опасна для ПРА длительная работа с неисправными стартерами (лампа не зажигается и накаливаются только ее концы). В этом случае ПРА перегревается и может сгореть. Необходима срочная замена стартеров.

При частых выходах ламп из строя до положенного срока службы необходимо такие светильники проверить, устранить неисправности и только после этого включать вновь в эксплуатацию.

При замене стартеров и ПРА следует убедиться в правильности подбора заменяющих элементов, предварительно проверить их исправность и только после этого включать светильник в эксплуатацию. При обнаружении неисправности светильника надлежит произвести его

проверку на месте установки, и, если будет установлена необходимость ремонта, такой светильник снимается и ремонтируется в мастерской.

Основные неисправности пускорегулирующих аппаратов. Пускорегулирующий аппарат в сочетании с люминесцентными лампами, стартерами и ламподержателями представляет собой довольно сложный монтажный узел, поэтому быстрое определение причин неисправности устройства и устранение их иногда представляет некоторые трудности. Это обстоятельство осложняется еще и тем, что одни и те же внешние проявления неисправностей светильников с люминесцентными лампами могут быть вызваны совершенно различными причинами. Неисправности светильника могут быть связаны с выходом из строя люминесцентных ламп, отказом в работе элементов пускорегулирующего аппарата, стартеров, ламподержателей, стартеродержателей и нарушением изоляции монтажных проводов.

В связи с этим нельзя рассматривать неисправности пускорегулирующих аппаратов в отрыве от всего комплекса устройств. Значительное число неисправностей и неполадок имеет место в первый период эксплуатации из-за ошибок при монтаже, реконструкции или ремонте светильников.

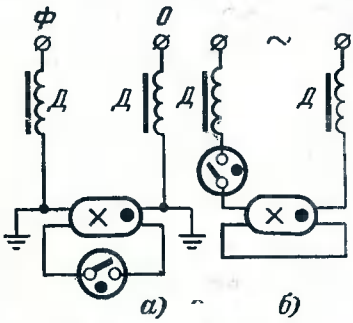


Рис. 47. Заземление проводника, соединяющего балласт и патрон лампы (*а*). Ошибка в схеме включения лампы и стартера (*б*).

При нарушении целости изоляции проводов может произойти замыкание на корпус заземленного светильника. При симметрированном дросселе замыкание на корпус заземленного светильника приводит к увеличению тока, проходящего через балласт и лампу. Величина аварийного тока зависит от того, в каком месте схемы произошло замыкание на корпус. Если замыкание на корпус произошло на фазном проводе, соединяющем одну секцию балласта с электродом лампы (рис. 47,*а*), то ток может достигнуть 1,5—2-кратной величины номинального. Так как величина тока короткого замыкания ограничивается индуктивным сопротивлением одной сек-

ции балласта, то предохранитель, установленный на группе, может не сработать и указанный ток в течение длительного времени будет проходить через балласт, обмотка которого может сгореть. Если замыкание на корпус произойдет за лампой, то величина тока короткого замыкания будет несколько меньше. Однако его прохождение через электроды лампы может привести к их перегоранию. В случае, если лампа зажжется или замыкание произошло во время ее горения, ток возрастет в 1,5—2,0 раза по сравнению с номинальным, что приведет к резкому сокращению срока службы.

При ошибочном соединении проводов в ламподержателе, объединенном со стартеродержателем, может оказаться, что стартер включен последовательно с лампой (рис. 47,*б*). Лампа будет периодически вспыхивать вблизи электродов, но не зажигаться.

О наличии неисправности в светильнике можно судить в большинстве случае по режиму горения ламп.

При включении светильника лампа не зажигается, на концах лампы нет свечения. Причинами могут быть: неисправность в схеме светильника, низкое напряжение в питающей сети, плохой контакт между штырьками лампы или штырьками стартера с контактами патрона или стартеродержателя, обрыв или перегорание электродов лампы, неисправность стартера. При бесстартерных схемах включения: неисправность ПРА, отсутствие на лампе проводящей полосы (для схем, предназначенных только для ламп с проводящей полосой).

Авометром или другим прибором проверяют напряжение в сети, контрольной лампой — наличие напряжения на вводах в патроны и стартеродержатели. При отсутствии напряжения проверяют электрическую схему светильника. Если обрыв проводов не обнаружен, то, следовательно, неисправен ПРА. Необходимо проверить качество контакта ламп в патронах и стартеров в стартеродержателе.

Катоды лампы накалены, но лампа не зажигается и не мигает. Причинами могут быть: ошибки в схеме, неисправность стартера, пробитие конденсатора для подавления радиопомех, замыкание на корпус.

В бесстартерных схемах включения: низкое напряжение сети, пробой резонансных конденсаторов или ко-

роткое замыкание части витков вторичной обмотки накального трансформатора, потеря эмиссии электродов ламп, низкая температура или высокая влажность окружающей среды. Контрольным прибором проверяют величину напряжения сети, меняют стартер, снимают конденсатор, проверяют изоляцию цепей по отношению к корпусу светильника и между собой, проверяют величину напряжения на катодах и на зажимах лампы.

При включении светильника наблюдается мигание лампы, но лампа не зажигается, имеется свечение только одного электрода.

Причинами могут быть: ошибки в схеме, шунтирование в цепи или патроне со стороны несветящегося электрода, замыкание выводов электродов лампы.

Лампу вынимают из светильника, перевертывают и снова вставляют в светильник. Если ранее несветящийся электрод начинает светиться, то лампа исправна, имеет место замыкание в патроне со стороны несветящегося электрода.

При исправности патрона проверяют электрическую схему светильника

Лампа мигает и не зажигается, при установке в другой светильник с такой же схемой включения горит нормально. Возможные причины: ошибки в схеме, неисправный стартер либо параметры стартера не соответствуют лампе, низкое напряжение сети, низкая окружающая температура, потеря эмиссии электродов лампы.

Проверяют напряжение сети, заменяется стартер, проверяют схему включения.

При включении лампы на ее концах вспыхивает оранжевое свечение, быстро исчезающее, лампа не зажигается.

Лампа неисправна и подлежит замене.

Зажигание лампы происходит нормально, однако через несколько часов работы появляется почернение ее концов, и лампа больше не зажигается.

Возможные причины: замыкание на корпус светильника, неисправность ПРА, неисправность лампы.

Проверяют целость изоляции цепей светильника по отношению к корпусу светильника, проверяют величины пускового и рабочего тока ПРА.

Лампа зажигается нормально, но при ее горении появляется вращение разрядного шнура, наблюдаются перемещающиеся змеевидные яркие полосы.

Возможные причины: неисправна лампа; сильные колебания напряжения сети; пускорегулирующий аппарат вследствие его неисправности дает большой рабочий ток через лампу; на лампу оказывает влияние магнитное поле, созданное ПРА.

Проверяют величину тока через лампу в рабочем режиме: при недостаточном предварительном отжиге лампы такие явления могут наблюдаться в течение нескольких десятков часов и потом исчезают. Иногда помогают устранению отмеченного явления несколько раз произведенные отключения и включения ламп. При обнаружении повышенного поля рассеяния ПРА он должен быть заменен новым. Если перечисленные меры не дают удовлетворительных результатов, то следует заменить лампу.

Лампа зажигается нормально, но ее яркость по отношению к другим лампам заметно ниже.

Возможные причины: недостаточен ток, создаваемый ПРА через лампу в рабочем режиме, пониженное напряжение сети, неисправна лампа.

Проверяют рабочий ток аппарата и, если он меньше допустимого, надо заменить ПРА. Проверяют напряжение сети. При исправности ПРА и нормальном напряжении в сети заменяют лампу.

При включении лампы наблюдается быстрое перегорание ее катодов.

Причинами могут быть: неисправность ПРА, в схеме имеется замыкание на корпус светильника. В этих случаях ПРА подлежит замене, замыкание в схеме светильника должно быть устранено.

При включении светильника лампа нормально зажигается, но затем гаснет, потом вновь зажигается и опять гаснет и т. д.

Возможные причины: неисправна лампа, неисправен стартер.

Проверяют величину напряжения на горящей лампе; если оно в пределах допустимого, то неисправен стартер.

В практике эксплуатации может появиться ряд других неполадок, вызванных особенностями работы установок. Во всех случаях неисправностей светильников с люминесцентными лампами необходимо проводить тщательную проверку всех его элементов, устранять обнаруженные недостатки и не допускать эксплуатации светильников с неустраненными неполадками, даже небольшими. Неисправность одного какого-либо элемента может привести к выходу из строя целой группы светильников и ее аварийному отключению. Тщательный учет имевших место неполадок в работе установки и проведение профилактических ремонтов оборудования поможет правильно организовать ее эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рохлин Г. Н., Газоразрядные источники света, изд-во «Энергия», 1966.

2. Вознесенская Э. С. и Скобелев В. М., Электрические источники света, Госэнергоиздат, 1957.

3. Фугенфиров М. И., Что нужно знать о газоразрядных лампах, изд-во «Энергия», 1968.

4. Штурм Г. К., Пускорегулирующая аппаратура и схемы включения люминесцентных ламп, Изд-во иностранной литературы, 1961.

5. Волоцкой Н. В., Люминесцентные лампы и схемы их включения в сеть, Госэнергоиздат, 1962.

6. Айзенберг Ю. Б., Что нужно знать о светильниках с люминесцентными лампами, изд-во «Энергия», 1964.

7. Зак С. М., Монтаж светильников с газоразрядными лампами, изд-во «Энергия», 1965.

8. Малкин Д. Я., Прнменение газоразрядных источников света, изд-во «Энергия», 1967.

9. Лукачер В. Г., Осветительные устройства с люминесцентными лампами, Госэнергоиздат, 1959.

10. Краснопольский А. Е., Пускорегулирующие аппараты для газоразрядных ламп, ВНИИЭМ, 1965.

11. Рябов М. С., Циперман Л. А., Электрическая часть осветительных установок, изд-во «Энергия», 1966.

12. Боярченков М. А., Шинянский А. В., Магнитные усилители, Госэнергоиздат, 1960.

13. Исаев Э. А., Полупроводниковые преобразователи напряжения, Военное изд-во Министерства обороны СССР, 1962.

14. ГОСТ 10237-62, Аппараты пускорегулирующие для люминесцеитных ламп, Устройства балластные. Типы и общие техинческие требования.

15. Светотехнические изделия. Пускорегулирующие аппараты для газоразрядных ламп. Аппараты для люминесцентных ламп, вып. 1, ВНИИЭМ «Информстандартэлектро», 1968.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Работа люминесцеитной лампы в электрической цепи и включение ее в сеть 4
2. Стартериые схемы включения люмииесцеитных ламп . . 24
3. Бесстартериые схемы горячего зажигаиия люмииесцентиых ламп 37
4. Работа люмииесцеитиых ламп в сетях с повышениой частотой 57
5. Регулирование яркости люминесцеитиых ламп 67
6. Конструкция пускорегулирующих аппаратов для люмииесцентных ламп 74
7. Проверка и устраиение иеполадок в работе пускорегулирующих аппаратов 107
Литература 119

Цена 26 коп.