

УДК621.327.534

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В РАЗРЯДНЫХ ТРУБКАХ НАТРИЕВЫХ ЛАМП

Свешников В.К., Куренщиков А.В., Васильченко В.Г.

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», Саранск, Россия (430007, Саранск, ул. Студенческая, 11а), e-mail: WWG_962@mail.ru

В статье нами предлагается экспресс-метод определения давления инертного газа в натриевых лампах высокого давления. В отличие от известных методов мы предлагаем расширение диапазона измеряемых давлений, повышение точности и воспроизводимости результатов при определении давления на низких частотах, что достигается возбуждением в поперечном сечении разрядной трубки вспомогательных разрядов, в результате чего объемный механизм развития разряда превалирует над поверхностным, имеющимся при высоких давлениях. Вследствие снижения напряжения возбуждения разряда повышается его стабильность, как при низких, так и при высоких давлениях инертного газа. Метод позволяет упростить измерительную схему, методику измерений и сделать ее доступной для экспресс-контроля давления в заводских условиях. Погрешность измерения давления не превышает 3 %.

Ключевые слова: разрядная трубка, инертный газ, электрод, натриевая лампа.

RAPID METHOD FOR DETERMINING GAS PRESSURE IN THE DISCHARGE TUBE SODIUM LAMP

Sveshnikov V.K., Kurenschikov A.V., Vasilchenko V.G.

Mordovia State Pedagogical Institute n.a. M.E. Evseveva, Saransk, Russia (430007, Saransk, street Studencheskaya, 11a), e-mail: WWG_962@mail.ru

In this article, we propose a rapid method of determining the pressure of the inert gas in the high pressure sodium lamps. In contrast to known methods, we propose expanding the range of measured pressures, improve the accuracy and reproducibility of the determination of the pressure at low frequencies, which is achieved in the excitation cross section of the discharge tube support time-series, with the result that the volume of the discharge mechanism prevails over the surface, having schimsya at high pressures. Due to the decrease of the discharge driving voltage increases its stability both at low and at high pressures of the inert gas. The method allows to simplify the measurement circuit, the measurement procedure and make it available for rapid pressure control at the factory. Deviation pressure does not exceed 3%.

Keywords: a discharge tube, an inert gas, the electrode sodium lamp.

Приоритетным направлением в современной энергетике является дальнейшее развитие натриевых ламп низкого и высокого давлений. В настоящее время западноевропейские фирмы «Osram», «Philips», «Thom» и др. серийно выпускают натриевые лампы низкого и высокого давлений. Световая отдача натриевых ламп низкого давления составляет 180–200 лм/Вт, а натриевых ламп высокого давления 130–160 лм/Вт. Желтый свет натриевых ламп способствует высокой видимости предметов. Он хорошо проникает сквозь пыль, туман и обладает малым слепящим действием. В связи с этим натриевые лампы широко используются для освещения автострад, аэропортов, судоверфей, подземных пешеходных переходов и др. Учитывая, что натриевые лампы являются энергетически эффективными источниками света, возникает актуальная необходимость совершенствования методов контроля их качества с целью исключения поступления к потребителю потенциально негодных ламп.

Базовым элементом конструкции натриевых ламп является разрядная трубка [6], ее стоимость составляет 40–60% от полной стоимости лампы. Существующие методы контроля качества разрядных трубок визуально, по напряжению горения разряда явно недостаточны для оценки их качества. По этим данным нельзя судить о давлении буферного газа, а, следовательно, выявить некачественные трубки и тем самым исключить дальнейшую сборку потенциально негодных ламп.

Одним из факторов, влияющих на электрические и световые характеристики, и срок службы ламп, является изменение давления и состава наполняющего газа. Изменение давления и состава газа может происходить в процессе отпайки штенгеля от вакуумной системы, тренировки ламп, сорбции газа элементами конструкции [7], а также вследствие наличия дефектов на поверхности и в объеме оболочек разрядных трубок. Кроме того, изменение давления в разрядной трубке сказывается на величине напряжения зажигания лампы.

Ниже предлагается экспресс-метод определения давления инертного газа в натриевых лампах высокого давления. Метод основан на возбуждении в поперечном сечении разрядной трубки вспомогательных низкочастотных разрядов.

Анализ методов контроля давления газа в газоразрядных приборах

Известен спектральный метод определения давления аргона в люминесцентных лампах [2], основанный на зависимости соотношения потоков резонансного излучения линий ртути положительным столбом разряда при фиксированном токе разряда. Эта методика длительна по времени, требует применения спектральной аппаратуры и обладает невысокой точностью измерений – примерно 9 %.

Давление газа можно определять по напряжению зажигания высокочастотного разряда на частоте 40 МГц между двумя электродами, расположенными диаметрально противоположно на поверхности газоразрядной лампы [5]. Недостатком этого метода является ограниченный диапазон измеряемых давлений. Для его расширения предлагается подавать на рабочие электроды лампы высоковольтный импульс, инициирующий зажигание основного высокочастотного разряда между внешними электродами. Давление наполняющего лампу газа определяется по напряжению погасания разряда. Недостаток способа заключается в необходимости подачи высоковольтного напряжения на электроды лампы.

Известен еще один путь, основанный на использовании внешних электродов [3]. На центральной части лампы размещаются внешние электроды. К ним прикладывается модулированное по амплитуде высокочастотное напряжение, и возбуждается разряд. Давление газа устанавливается по графику зависимости напряжения зажигания разряда от давления. Этот метод также имеет ряд недостатков: происходит утечка высокочастотного тока по поверхности лампы, необходима модуляция высокочастотного напряжения. К тому же он применим

только для ламп, откачанных до давления 1,3 кПа. При давлении свыше 1,3 кПа возникает неустойчивый контакт шнура высокочастотного разряда с оболочкой лампы.

В приведенных способах определение давления газа осуществляется возбуждением продольного разряда между внешними электродами. В таком разряде исчезновение заряженных частиц идет не за счет их рекомбинации в объеме лампы, а по причине биполярной диффузии с последующей рекомбинацией на стенках лампы. Радиальное распределение электронов для подобной конфигурации разряда неоднородно. Кроме того, на процесс биполярной диффузии электронов и ионов сильно влияют материал оболочки, состояние ее поверхности, вторично-эмиссионные свойства, а также проводимость диэлектрической оболочки, что ограничивает точность измерений и воспроизводимость результатов.

В изобретении [1] описан способ определения давления в лазерных трубках с тлеющим и дуговым разрядами. Для этого в приборе разрядный ток модулируют высокочастотным напряжением (рис.1). Давление газа определяется по измеренной величине переменной составляющей тока.

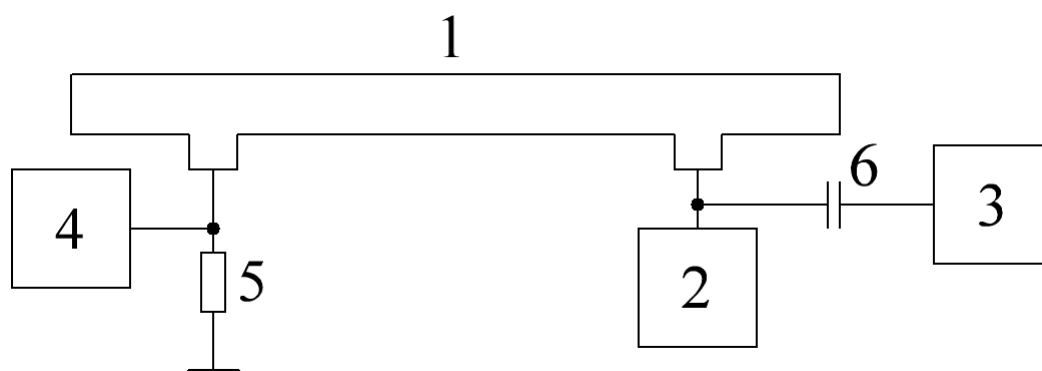


Рис. 1. Схема установки для измерения давления газа в лазерных трубках: 1 – разрядная трубка; 2 – блок питания; 3 – генератор, 4 – вольтметр; 5 – нагрузочное сопротивление

Недостатком способа является ограниченный диапазон измеряемых давлений.

Схема устройства для определения давления буферного газа в разрядных трубках

В отличие от известных методов мы предлагаем расширение диапазона измеряемых давлений, повышение точности и воспроизводимости результатов при определении давления на низких частотах, что достигается возбуждением в поперечном сечении разрядной трубки вспомогательных разрядов, в результате чего объемный механизм развития разряда превалирует над поверхностным, имеющимся при высоких давлениях. Вследствие снижения напряжения возбуждения разряда повышается его стабильность, как при низких, так и при высоких давлениях инертного газа.

На рис. 2 приведена схема устройства [4], которая реализует предложенный метод. Она содержит четыре внешних электрода – 1, 2 и 3, 4, которые контактируют с поверхностью лампы 5. Для возбуждения разряда между электродами к ним прикладывается напря-

жение, снимаемое с обмоток 6 и 7 трансформатора 8. Постоянные по величине значения токов вспомогательных разрядов поддерживаются резисторами 9 и 10. Контроль токов осуществляется микроамперметрами 11 и 12.

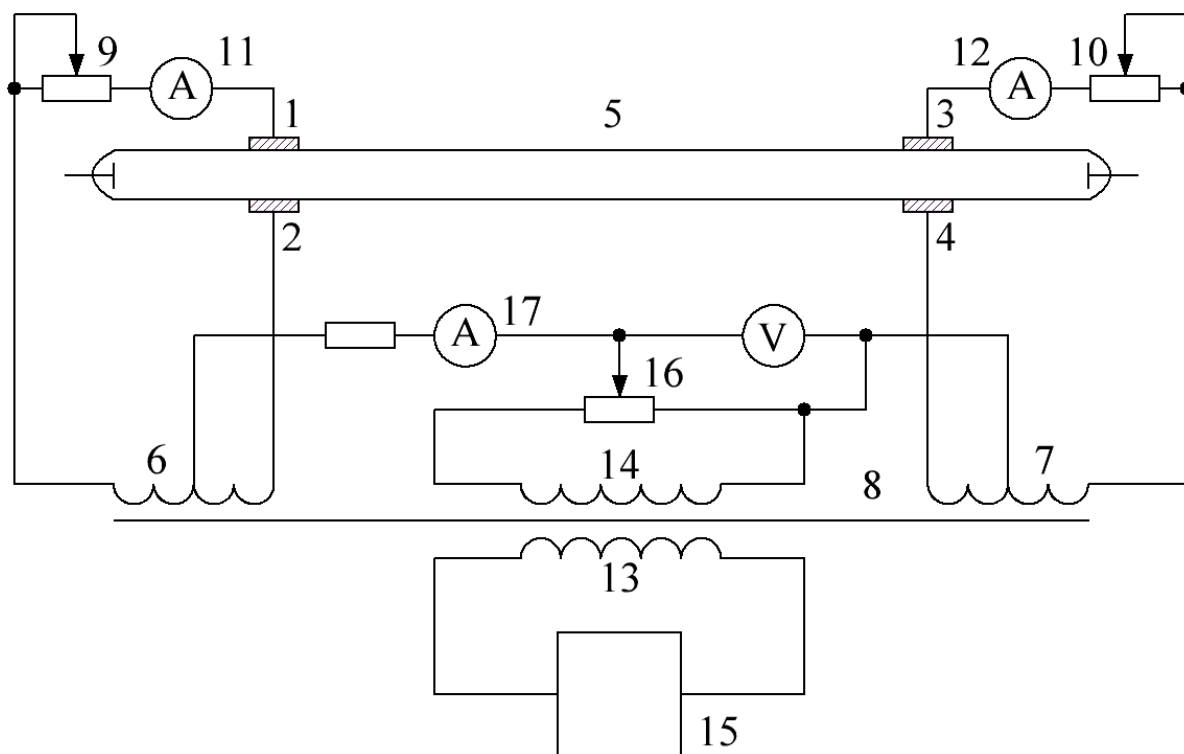


Рис. 2. Схема устройства для определения давления в разрядной трубке

Измерения проводятся на частоте f переменного напряжения, при которой активная проводимость плазмы σ_{Π} значительно больше проводимости σ_K конденсаторов, образованных двумя внешними электродами и внутренней поверхностью стенки лампы толщиной h и относительной диэлектрической проницаемостью ε :

$$\sigma_{\Pi} \geq 0,5\sigma_K. \quad (1)$$

Активная проводимость плазмы вспомогательного разряда в области низких частот

$$\sigma_{\Pi} = \frac{e^2 n_e}{m\nu}, \quad (2)$$

где e – заряд электрона; n_e – концентрация электронов; m – масса электрона; ν – частота упругих столкновений электронов с атомами газа.

Проводимость плоского конденсатора на частоте f переменного тока определяется по формуле

$$\sigma_K = 2\pi f \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{h}, \quad (3)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная; S – площадь вспомогательного электрода.

Подставляя соотношения (2) и (3) в формулу (1), получим:

$$f \leq \frac{e^2 n_e h}{\pi m v S \epsilon \epsilon_0}. \quad (4)$$

Известно, что в поперечном разряде в отличие от продольного доминирующими становятся объемные процессы рекомбинации заряженных частиц в плазме, что обуславливает равномерное распределение концентрации электронов по сечению лампы. Это позволяет повысить точность измерений.

Методика определения давления в разрядных трубках натриевых ламп

Давление в разрядных трубках находится следующим образом.

1. К трансформатору 8 прикладывается напряжение, снимаемое с генератора 15, и возбуждается разряд между внешними электродами 1, 2 и 3, 4.

2. С помощью резисторов 9 и 10 токи разрядов, протекающие между электродами 1, 2 и 3, 4, устанавливаются равными 1,2 мкА.

3. Резистором 16 плавно увеличивается напряжение между парами электродов 1, 2 и 3, 4 до зажигания разряда в промежутке между ними. Зажигание регистрируется по возникновению тока в цепи микроамперметром 17.

4. По измеренному напряжению пробоя из графика на рис. 3 определяется давление газа в разрядной трубке.

Предложенный нами метод испытан на разрядных трубках натриевых ламп ДнаТ-400, наполненных ксеноном, при давлении 3,192 кПа. Трубку 5 помещают между внешними электродами 1, 2 и 3, 4 размерами 4х6 мм, изготовленными из никелевой фольги и расположенными вдоль ее оси на расстоянии 30 мм друг от друга. В схеме применен повышающий трансформатор 8 с коэффициентом трансформации между обмотками 6, 7 и 13, равным 20, и обмотками 14 и 13, равным 40. К трансформатору 8 прикладывается переменное напряжение частотой 800 Гц от генератора низкочастотных колебаний 15.

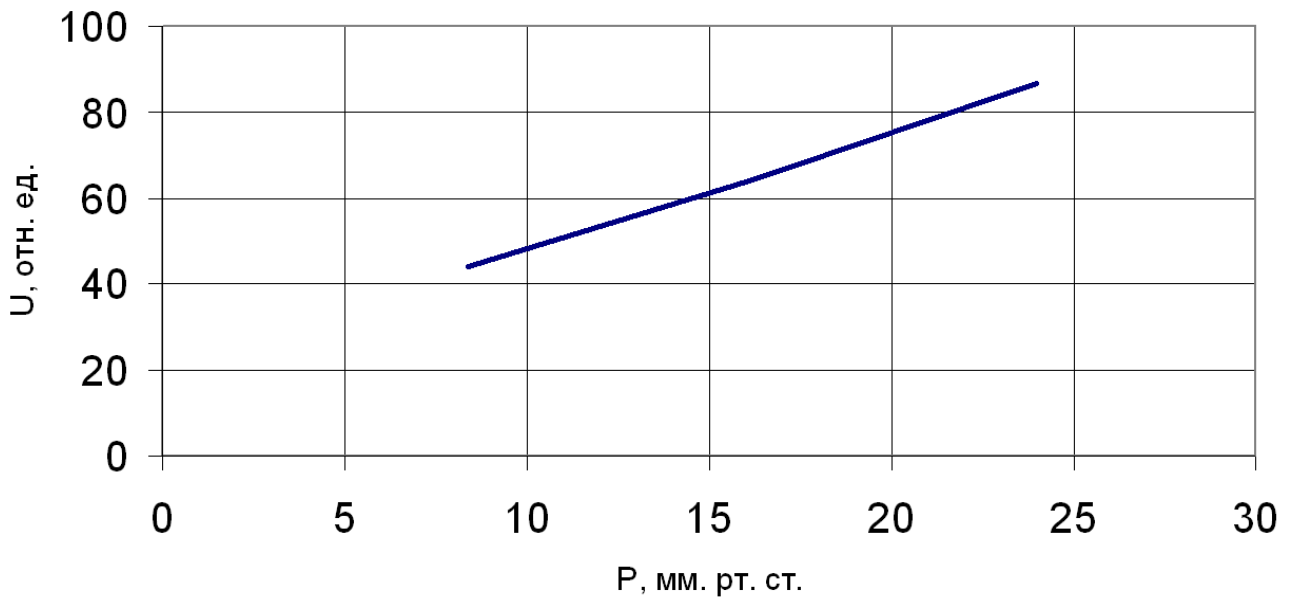


Рис. 3. Зависимость напряжения пробоя между вспомогательными электродами от давления газа

Выводы

1. Разработан и практически осуществлен метод контроля давления в разрядных трубках натриевых ламп на стадии их изготовления, что исключает сборку потенциально негодных ламп и их поступление к потребителю.
2. Метод позволяет упростить измерительную схему, методику измерений и сделать ее доступной для экспресс-контроля давления в заводских и лабораторных условиях.
3. Погрешность измерения давления буферного газа в разрядных трубках не превышает 3 %.

Список литературы

1. А.с. 575517 / СССР / Способ измерения давления в газоразрядном приборе. Оpubл. Б.И. 1977. № 37.
2. АлукаевБ. Х., Дадонов В. Ф., Федоренко А. С. К определению давления инертного газа в люминесцентных лампах спектральным методом// Светотехника. 1973. № 5. С. 4–5.
3. Андреев Ю. П. Физико-технические методы неразрушающего контроля ГРИ высокоинтенсивного оптического излучения // Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. 1990. Вып. 4. С. 35.
4. Патент РФ №2199791, 27.02.2003.
5. Свешников В. К. Способ определения давления газа в газоразрядных трубках // Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы. 1980. Вып. 5. С. 48–49.
6. Энергосбережение в освещении / под. ред. проф. Ю. Б. Айзенберга М.: Изд-во «Знак», 1999.264 с.

7. Burgaaf F. Sorption of argon by glassing discharge // *Lamp J. Amer. Ger. Soc.* 1966. Vol. 49. № 8. P. 450–454.

Рецензенты:

Маргулис В.А., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой теоретической физики, НИ МГУ им. Н.П. Огарева, г.Саранск;

Кузьмичев Н.Д., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой общенаучных дисциплин, НИ МГУ им. Н.П. Огарева, г.Саранск.