

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 6 — 1976

УДК 538.8.824.3

В. П. БОРОДУЛИН

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА

Описано электронное устройство, регулирующее интенсивность излучения галогенной лампы накаливания, работающее по принципу следящей системы с отрицательной обратной связью по световому потоку. Приведены энергетические спектры излучения вольфрама в области длин волн от 200 до 2000 нм для температур от 1600 до 3600 К и обсуждена возможность использования данного источника света в спектрофотометрических экспериментах.

Источники света, используемые в спектрофотометрических измерениях, должны обеспечить интенсивность излучения, соответствующую условиям проведения эксперимента, и иметь стабильную спектральную плотность излучения во всем диапазоне измерений. В данной работе приводится схема электронного устройства регулирования и стабилизации питания и характеристики источника излучения, используемого в установке для измерения спектральных коэффициентов отражения покрытий в вакуумной камере.

Для проведения эксперимента требовался источник, обеспечивающий спектральную плотность излучения, в несколько раз превышающую спектральную плотность излучения заатмосферного Солнца в диапазоне длин волн от 200 до 2000 нм. В качестве такого источника света использовалась малогабаритная галогенная лампа накаливания типа КГМ-220—500. Лампы с иодным циклом выгодно отличаются от других ламп накаливания более высокой (до 3400 К) температурой вольфрамового тела накала, которое заключено в кварцевую колбу, прозрачную для ультрафиолетового излучения [1].

Для определения спектральной плотности излучения был рассчитан энергетический спектр излучения вольфрама для температур от 1600 до 3600 К в диапазоне длин волн от 200 до 2000 нм. Расчет проводился по методике, изложенной в [2]. Вначале был рассчитан энергетический спектр излучения абсолютно черного тела:

$$\Phi_{\text{атт}} = 1,2862 \cdot 10^{-11} T^5 \Phi_{\lambda},$$

где $\Phi_{\text{атт}}$ — спектральная плотность потока, излученного единичной площадкой абсолютно черного тела в полусферу, отнесенная к спектральному интервалу $\Delta\lambda = 1$ см, $\text{Вт} \cdot \text{см}^{-3}$, T — абсолютная температура, К, Φ_{λ} — табличная функция, приведенная в [2].

$$\Phi_{\lambda} = \varphi(z), \quad z = 3,4508 \lambda T,$$

λ — длина волны излучаемого света, см.

Затем, используя данные излучательной способности вольфрама $\varepsilon_{\lambda T}$ [3], рассчитывали спектральную плотность излучения вольфрама. Результаты расчета в виде графиков приведены на рис. 1. Необходимо отметить, что использованные данные были получены экспериментально для ленты из чистого вольфрама. Использование этих данных для рас-

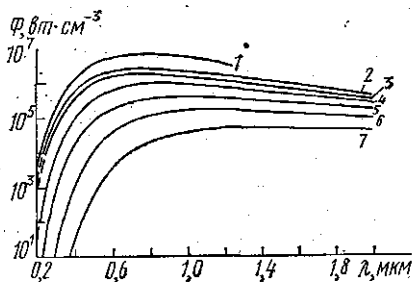


Рис. 1. Энергетический спектр излучения вольфрама: 1 — абсолютно черное тело $T=3600$ К; вольфрам: 2 — 3600, 3 — 3400, 4 — 3000, 5 — 2600, 6 — 2200 и 7 — 1800 К

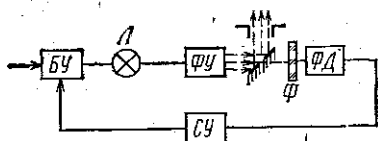


Рис. 2. Блок-схема стабилизированного источника света

чета излучения спиралевидного тела накала лампы, а также экстраполяция значений $\varepsilon_{\lambda T}$ для температур до 3600 К в данном случае допустимы, так как перед экспериментом стояла только задача обеспечения необходимой и постоянной во времени спектральной плотности излучения лампы. Из рис. 1 видно, что рассчитанная спектральная плотность потока, излучаемого телом накала площадью 1 см^2 в полусферу при $T=3400$ К, на длинах волн, соответствующих границам выбранного спектрального диапазона, составляет:

$\Phi_{\lambda T} = 8 \cdot 10^2 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-3}$ для $\lambda=200$ нм и $\Phi_{\lambda T} = 5 \cdot 10^5 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-3}$ для $\lambda=2000$ нм. Сравнивая эти спектральные плотности со спектральной плотностью световых потоков, излучаемых Солнцем за земной атмосферой, которые составляют [4]: $F_{\lambda} = 14 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-3}$ для $\lambda=200$ нм и $F_{\lambda} = 107 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-3}$ для $\lambda=2000$ нм, можно сделать вывод о том, что даже при коэффициенте сбора излучения лампы фокусирующим устройством порядка 10% (в телесном углу $0,2 \pi$ ср около нормали к телу накала), она обеспечит спектральную плотность светового потока, почти на порядок превосходящую солнечную для всех длин волн спектрального диапазона. Из рис. 1 также видно, что при измерениях в видимой и инфракрасной областях спектра в целях увеличения срока службы лампы можно снижать подводимую к ней мощность, работая при температурах тела накала около 1800 К, и выводить лампу на номинальную мощность только при работе в ультрафиолетовой области спектра.

Таким образом, застabilизировав любым известным способом питание лампы при различных температурах тела накала (в зависимости от той области спектра, в которой используется в данный момент источник излучения), можно считать вопрос о стабильном источнике света решенным. Однако известно, что в процессе работы лампы накаливания меняются оптические характеристики их колб, а также со временем меняются параметры фокусирующих устройств. В связи с

этим представляется целесообразным исключить влияние и этих дестабилизирующих факторов, охватив источник излучения отрицательной обратной связью непосредственно по световому потоку, выходящему из фокусирующего устройства.

Блок-схема такого устройства показана на рис. 2. Поток света, излучаемый лампой Л, пройдя через фокусирующее устройство, частично

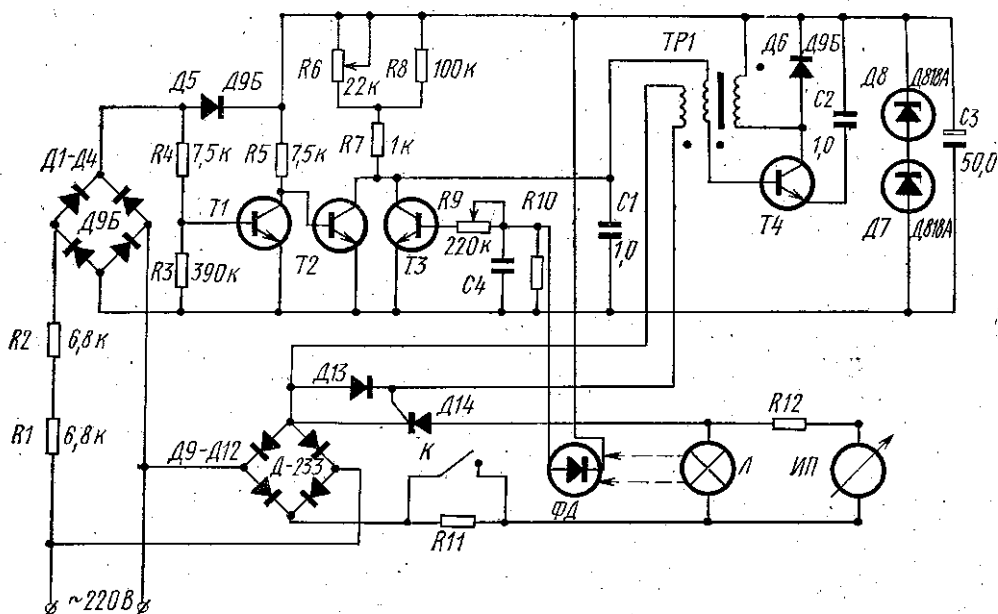


Рис. 3. Принципиальная схема стабилизированного источника света. TP1 выполнен на ферритовом кольце К 17,5×10×7 2000 нм, обмотки содержат по 80 витков, начала обмоток отмечены точкой

попадает на фотодетектор ФД, который вырабатывает сигнал, пропорциональный падающему излучению. Сигнал фотодетектора усиливается согласующим устройством СУ и поступает в блок управления БУ.

При случайных изменениях потока излучения, падающего на фотодетектор, его сигнал через согласующее устройство воздействует на блок управления, который увеличивает или уменьшает мощность, подводимую к лампе накаливания Л, так, чтобы восстановить прежнюю величину светового потока и сигнала фотодетектора. Перед фотодетектором устанавливаются оптические фильтры Ф, которые позволяют стабилизировать излучение в том диапазоне спектра, в котором производится измерение. Без фильтра устройство стабилизирует интегральный световой поток, излучаемый лампой, в пределах спектральной чувствительности фотодетектора. В данном устройстве в качестве фотодетектора используется кремниевый детектор с $p-n$ -переходом поверхностно-барьерного типа, имеющий диапазон спектральной чувствительности от 0,22 до 1,1 мкм. Такой детектор отличается от других фотодетекторов отсутствием защитного окна и тонким «мертвым» слоем, что повышает его чувствительность в ультрафиолетовой области спектра [5, 6].

В этом устройстве фотодетектор работает в фотодиодном режиме, который при больших световых потоках имеет преимущество перед вен-

тильным режимом работы: он обладает лучшей стабильностью и более легким согласованием с нагрузкой в данном устройстве, а также отсутствием источника напряжения смещения [7].

Принципиальная схема электронного устройства стабилизации светового потока показана на рис. 3. В качестве регулятора мощности, поступающей в нагрузку Л, использован тиристор Д-14 типа 2У-202 с подходящими прямым током и обратным напряжением, включенный последовательно с нагрузкой и диодным мостом Д9-Д12 [8, 9].

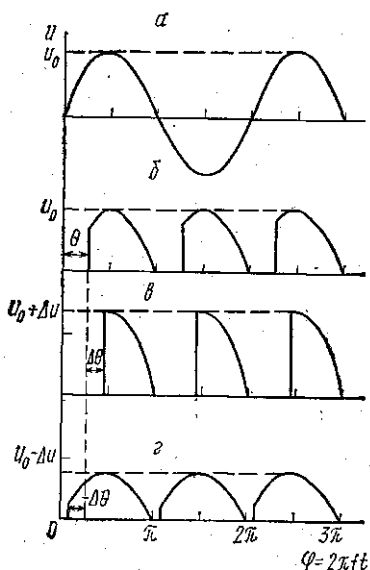


Рис. 4. Осциллограммы напряжений: а — напряжение сети, б — напряжение на нагрузке в номинальном режиме, в — напряжение на нагрузке при увеличенном относительно номинального напряжения сети, г — напряжение на нагрузке при уменьшенном относительно номинального напряжения сети; $\pm \Delta\theta$ — изменение фазы отпирания тиристора, обеспечивающее постоянно излучаемого светового потока при увеличении (уменьшении) напряжения сети

Тиристор открывается импульсом, поступающим с трансформатора блокинг-генератора, собранного на кремниевом транзисторе Т-4 типа КТ-315 А. Момент поступления открывающего тиристор импульса сдвинут по фазе относительно питающего напряжения на некоторое время t , определяемое постоянной времени интегрирующей цепочки, состоящей из резисторов R6, R7, R8 и конденсатора С1. При выключенной обратной связи (цепь Т3, R9, ФД) момент отпирания тиристора можно регулировать в широких пределах резистором R6. При этом на нагрузку будут поступать импульсы синусоидальной формы длительностью от $1/f = 1/2\pi\omega$ до 0, т. е. действующее напряжение на нагрузке может регулироваться от напряжения сети до 0 (без учета потерь в выпрямляющих диодах Д9—Д12 и в тиристоре Д14). Транзисторы Т1 и Т2 типа МП-103 выполняют роль формирователя прямоугольных импульсов, поступающих на интегрирующую цепь. Блокинг-генератор срабатывает и формирует импульс, отпирющий тиристор в момент, когда напряжение на конденсаторе С1 достигает некоторого порогового значения.

При включенной цепи обратной связи изменяется постоянная времени зарядки конденсатора С1 за счет шунтирующего действия транзистора Т3 (типа МП-103), приоткрываемого сигналом фотодетектора ФД. При этом время, на которое задержан импульс блокинг-генератора, увеличивается, а длительность синусоидальных импульсов, поступающих в нагрузку, уменьшается. Это приводит к уменьшению светового потока, излучаемого лампой, до значения, соответствующего равнове-

шенному состоянию схемы, которое является рабочим режимом стабилизирующего устройства.

При выведении устройства из положения равновесия воздействием помехи (изменение напряжения сети, изменение прозрачности колбы лампы и т. п.) фотодетектор изменит проводимость транзистора ТЗ, что приведет к изменению задержки отпирающего импульса и к такому изменению действующего напряжения на нагрузке, которое восстановит прежний световой поток. На рис. 4 приведены осциллограммы напряжений на нагрузке, поясняющие работу устройства, снятые при различных напряжениях питания.

Испытания разработанного источника излучения в лабораторных условиях показали, что интегральный световой поток, измеренный кремниевым фотодиодом типа «Кулон», оставался постоянным с точностью до 0,3% при изменении напряжения питания от 190 до 240 В.

Описываемое устройство может быть использовано для питания ламп накаливания с различными номинальными напряжениями, при этом нужный режим работы устанавливается резистором R6, а необходимая глубина обратной связи подбирается изменением резистора R9. Необходимо отметить, что быстродействие регулирующего устройства определяется длительностью одного периода выпрямленной синусоиды, поэтому при работе с такими инерционными нагрузками, как лампы накаливания, необходимо снизить быстродействие регулятора, например, включением апериодического звена С4, R10. Резистор R11 и ключ К введены для предохранения низкоомной нагрузки от перегрузок, которые могут возникать при включении и отключении устройства от сети.

С целью контроля за установлением требуемого режима работы устройство снабжено измерительным прибором ИП, включенным параллельно нагрузке. Так как форма напряжения, поступающего на измерительный прибор, резко отличается от синусоидальной, прибор должен быть тепловой или электромагнитной системы. Действующее значение напряжения, поступающего в нагрузку, в зависимости от фазы включения тиристора может быть также рассчитано по следующей формуле:

$$\langle u^2 \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{\theta}^{\pi} [u_0 \sin \varphi]^2 d\varphi = \frac{u_0^2}{2\pi} \left(\pi - \theta + \frac{\sin 2\theta}{2} \right).$$

Фаза включения тиристора θ и амплитуда питающего напряжения u_0 могут быть легко измерены осциллографом.

В процессе проведения эксперимента по изучению отражательной способности покрытий потребовалось дополнительно использовать в качестве источника света ртутную газоразрядную лампу типа ПРК для спектральных измерений и типа ДРШ для измерения интегральной отражательной способности. Вопрос о стабилизации светового потока газоразрядных ламп сложнее, чем ламп накаливания, так как он не может быть решен обычной стабилизацией напряжения питания. Поэтому (с учетом хорошего быстродействия описанного электронного регулятора) была предпринята попытка использовать его для питания и стабилизации указанных газоразрядных приборов.

В качестве устройства поджига ламп использовались обычные импульсные трансформаторы. Опыт показал, что данный электронный регулятор может быть с успехом применен для стабилизации как интегральных потоков, так и спектральных плотностей потоков излучения газоразрядных ламп. При этом лампа ПРК-2 работала в импульсном

режиме с частотой 100 Гц, а усредненная за несколько периодов спектральная плотность излучения поддерживалась на заданном уровне с точностью 0,3%. Кроме того, устройство позволяло регулировать интенсивность излучения ламп в 6—7 раз относительно номинальной, а принцип работы такого регулятора позволил практически исключить баластное сопротивление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смолкин М. Н., Суворова Н. Н., Никитичева А. М. «Светотехника», 1970, № 1, с. 16; Вугман С. М., Явко И. О., Ивенин Н. А. «Светотехника», 1970, № 1, с. 25.
2. Апанасевич П. А., Айзенштадт В. С. Таблицы распределения энергии и фотонов в спектре равновесного излучения. Минск, 1968.
3. Свет Д. Я. Температурное излучение металлов и некоторых веществ. М., 1964.
4. Околоземное космическое пространство. Справочные данные. М., 1966.
5. Акимов Ю. К., Калинин А. И., Кушнурук В. Ф., Юнгкладсеен. Полупроводниковые детекторы ядерных частиц и их применение. М., 1967.
6. Fuzzolino A. J., Hubbard E. L., Perkins M. A., Fan C. J. «Appl. Phys.», 1962, 33, N 1.
7. Полупроводниковые приборы и их применение. М., 1966.
8. Тиристоры малой и средней мощности. Руководство по применению. ОСТII 332.002—73, 1974.
9. Радио, (обзор). 1975, № 10, стр. 47.

Поступила в редакцию
30.12 1975 г.

НИИЯФ