

**ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С УСИЛИТЕЛЬНЫМИ ЛАМПАМИ**

Е.А. Олисевиц

jenia1702@gmail.com

SPIN-код: 2369-3990

Ю.О. Васин

yury97@mail.ru

SPIN-код: 5041-2746

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

**Аннотация**

Разработан и собран лабораторный стенд, предназначенный для освоения теоретических и практических навыков работы с радиолампами различных видов. Необходимость в разработке такого стенда связана с возникшей потребностью внедрения таких ламп в технику. Подробно рассмотрены устройство и характеристики радиоламп, их основная классификация и ключевые преимущества их применения в области современной электронной аппаратуры. Даны определения параметров радиоламп, приведены графические зависимости этих параметров. Описаны основные способы применения лабораторного стенда для получения различных параметров и характеристик, что способствует практическому усвоению студентами полученного на лекциях теоретического материала.

**Ключевые слова**

Лабораторный стенд, электронная лампа, радиолампа, тиратрон, автоэмиссионные лампы, катод, анод, электронно-лучевые приборы

Поступила в редакцию 17.12.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

**Введение.** Электронная лампа, упрощенно называемая радиолампой, является разновидностью вакуумного электронного оборудования. Данный прибор используется для управления усилением напряжений и токов в радиосхемах, обладает высокой надежностью и помехоустойчивостью, что делает его востребованным в высококачественной аппаратуре. Чтобы разрабатывать новые изделия на базе электронных ламп, необходимо на практике усвоить принцип их работы.

В настоящее время электронные лампы используют в основном в надежной и дорогой технике. Поэтому появилась необходимость в подготовке специалистов, работающих в этой области. Для изучения и использования радиоламп как приборов применяют разработанный лабораторный стенд, обладающий возможностью подключения различными способами.

**Анализ объектов предметной области.** Темой исследований в статье является разработка лабораторного стенда для проведения экспериментов с усилительными электронными лампами. Электронная лампа [1] — вакуумное электрическое устройство, работа которого происходит в результате управления интенсивностью струи электронов, передвигающихся в вакууме или же разреженном газе между электродами. Пример такой лампы показан на рис. 1.

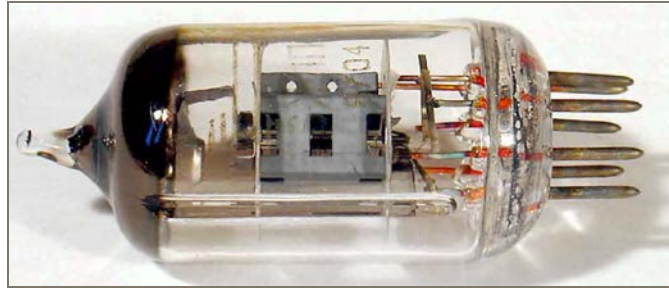


Рис. 1. Электронная лампа [2]

Радиолампы массово применяли в XX веке как функциональные составляющие электрической аппаратуры (усилители, генераторы, сенсоры, переключатели и т. п.). В реальное время лампы буквально всецело вытеснены полупроводниковыми приборами [3]. В наше время они используются преимущественно в сильных высокочастотных передатчиках и в качественной аудиотехнике.

Электронно-лучевые приборы основаны на тех же принципах, что и электронные лампы, но управляют не только интенсивностью потока электронов, но и распределением электронов в пространстве, поэтому их выделяют отдельно.

**Классификация и принцип действия радиоламп.** В основном радиолампы подразделяют на четыре типа [4]:

- 1) вакуумные электронные лампы с подогреваемым катодом;
- 2) газонаполненные электронные лампы;
- 3) микроэлектронные приборы с автоэмиссионным катодом;
- 4) газоразрядные лампы.

*Вакуумные электронные лампы с подогреваемым катодом.* В результате термоэлектронной эмиссии электроны уходят с поверхности катода. Из-за разности потенциалов между анодом и катодом электроны достигают анода, образуя анодный ток во внешней цепи. С помощью сеток (дополнительных электродов) осуществляют управление потоком электронов, подавая электрический потенциал. В вакуумных электронных лампах присутствие газа ухудшает характеристики лампы. Схема такой лампы показана на рис. 2.

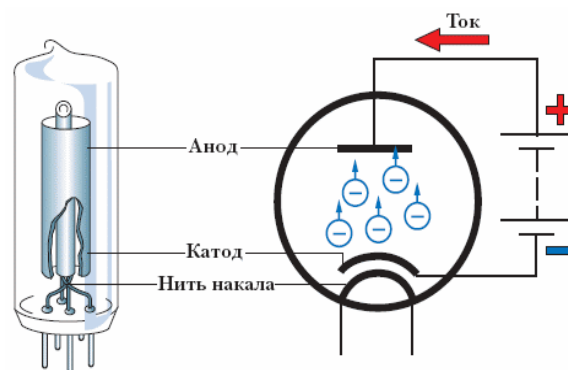


Рис. 2. Двух электродная лампа с подогревательным катодом [5]

*Газонаполненные электронные лампы.* Особенностью ламп этого класса является наличие газа внутри лампы, в котором течет поток ионов. Поток может быть создан разрядом в разреженном газе благодаря напряженности электрического поля. Обычно такие лампы используются в низкочастотных генераторах (например, тиратроны), либо в схемах выпрямителей с управлением (например, игнитрон).

*Микроэлектронные приборы с автоэмиссионным катодом.* В течение процесса миниатюризации электронных ламп (вакуумных) привел к переходу на автоэлектронную эмиссию с холодных катодов особой формы из специальных материалов. Это позволяет сократить размеры устройств до микронных размеров и при этом использовать обыкновенные методы изготовления.

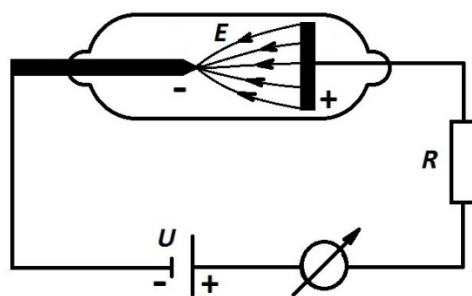


Рис. 3. Лампа с автоэмиссионным катодом

В настоящее время такие лампы используются в реальных цепях, они также активно исследуются. Схематическое изображение такой лампы приведено на рис. 3.



Рис. 4. Тригatron [7]

*Газоразрядные лампы.* В этих лампах обычно используют горящий или дуговой разряд в газах (инертных), отсюда они получили название газоразрядные или ионные приборы. С целью получения больших значений тока и напряжения прибор наполняют жидким диэлектриком (например, трансформаторное масло). Такие лампы получили название тригatronов. Они могут выдерживать большие напряжение до мегавольта и пропускать огромные токи до сотен ампер [6].

Пример такой лампы приведен на рис. 4. Управление в таких приборах осуществляется либо подачей определенного напряжения на сетку, пропуском прямого тока через лампу (в стабилитронах) и воздействием ультрафиолета или лазера на газ.

**Параметры и свойства радиоламп.** Так как радиолампы используются для усиления токов и напряжений, свойства прибора определяются характерной зависимостью токов от напряжений, также имеющей сокращенное название ВАХ — вольтамперная характеристика. Поскольку лампы нашли большое применение в усилителях, часто пользуются анодно-сеточными характеристиками: *напряжение сетки при постоянном напряжении анода* и *напряжение анода при постоянном напряжении сетки*. Такие характеристики обладают одной общей особенностью: имея одну из них, можно получить другую. Пример подобной характеристики показан на рис. 5.

Основные параметры как раз и определяются из таких характеристик [8]. В зависимости от этих характеристик для радиолампы подбирают электрическую схему. При подборе учитывают множество характеристик, основные из которых перечислены ниже.

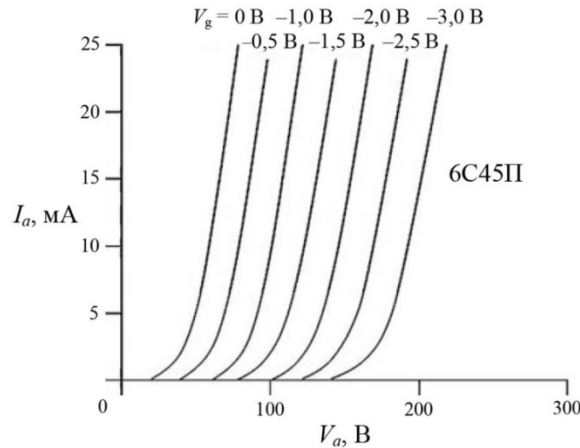


Рис 5. График ВАХ триода [10]

*Коэффициент усиления* [9] — определяют как отношение приращения напряжения на аноде к приращению напряжения на сетке при постоянном анодном токе:  $\mu = \Delta U_a / \Delta U_c$  при  $I_a = \text{const}$ . Внутреннее сопротивление определяется как отношение приращения напряжения на аноде к приращению тока анода при постоянном напряжении на сетке:  $R_i = \Delta U_a / \Delta I_a$  при  $U_c = \text{const}$ .

*Крутизна лампы* — отношение приращения анодного тока к приращению напряжения сетки при постоянном напряжении анода.

*Внутреннее сопротивление* — сопротивление лампы переменному току. Определяется как отношение изменения напряжения анода к изменению тока анода при неизменных напряжениях на остальных электродах.

*Напряжение смещения на первой (управляющей) сетке* — напряжение, которое устанавливает рабочую точку на прямолинейном участке характеристики для стабильной работы лампы.

*Напряжение возбуждения* [11] — переменное напряжение, подаваемое на первую (управляющую) сетку, для обеспечения данной лампой усиления.

*Мощность, рассеиваемая на аноде или на второй (экранирующей) сетке* — мощность, определяемая в реально выбранном рабочем режиме класса А как произведение постоянной составляющей тока в цепи анода или в цепи второй (экранирующей) сетки.

*Выходная мощность* — полезная мощность, отдаваемая лампой во внешнюю цепь.

*Коэффициент нелинейных искажений* — степень нелинейных искажений, возникающих в усилителях вследствие нелинейности характеристик электронных ламп. При наличии нелинейных искажений в усилителе на его выходе возникают новые частоты (гармоники), отсутствующие на входе.

*Сопротивление нагрузки* [12] — сопротивление на выходе электронного прибора в виде активного сопротивления, индуктивности или емкости, соединенное с его выходной цепью посредством переходного конденсатора или трансформатора.

*Сопротивление в цепи анода* — нагрузка в анодной цепи лампы. Она может иметь вид активного сопротивления, дросселя или трансформатора. Выражается в килоомах.

*Ток катода* — величина общего тока, протекающего через лампу, равная сумме токов всех остальных электродов лампы.

*Выходная емкость* — емкость анода относительно других электродов, на которых при работе лампы отсутствует переменное напряжение сигнала, действующее в цепи анода.

*Входная емкость* — емкость управляющей сетки относительно всех других электродов, на которых при работе лампы отсутствует напряжение частоты сигнала, приложенного к цепи управляющей сетки.

*Лампа с короткой характеристикой* — лампа, имеющая резко спадающую к нулевому значению тока анода анодно-сеточную характеристику.

*Лампа с удлиненной характеристикой* — лампа, имеющая анодно-сеточную характеристику специальной удлиненной формы при малых значениях токов анода, что дает возможность регулировать усиление, изменяя напряжения смещения на управляющей сетке в широких пределах.

*Наибольшая допустимая амплитуда обратного напряжения* — наибольшая величина напряжения, приложенного к аноду диода со знаком минус, не допускающего пробоя внутри диода или пробоя между штырьками цоколя.

*Динамическая характеристика* — характеристика зависимости параметров при постоянных значениях напряжения источника анодного питания и сопротивления нагрузки.

**Применение лабораторного стенда к лампам.** На рис. 6 показан лабораторный стенд с девятью разъемами для радиоламп и двумя разъемами для амперметра.



**Рис. 6.** Лабораторный стенд:

1 — входные клеммы; 2 — гнездо для меньшей лампы;  
3 — гнездо для большей лампы; 4 — амперметр

Данный стенд позволяет измерять различные характеристики подключаемых ламп. На поверхности корпуса устройства установлен амперметр. Подключая к разъемам питание для радиоламп и измерительные приборы, к примеру, можно построить ВАХ лампы, изменяя подаваемое напряжение на разъемы и фиксируя значения токов.

Подключить можно лампы двух типов: семиконтактные и девятиконтактные можно увидеть на рис. 6. Таким образом, есть возможность подключать целую электрическую цепь усилительного каскада и снимать необходимые параметры практически в любом узле схемы, а также задавать режимы работы электронных ламп.

**Заключение.** Проанализировав принципы работы электронных ламп, можно сделать вывод, что хотя полупроводниковые приборы в какой-то степени и вытеснили радиолампы, но они уступают радиолампам по надежности и помехоустойчивости — основным важнейшим параметрам приборов на базе радиоламп. Отметим, что технологии микроэлектронных радиоламп все также развиваются и используются в высококачественной и надежной аппаратуре, поэтому нужно готовить специалистов, работающих с этими приборами. Поскольку радиолампы вновь внедряются в производство, студенты изучают теоретический материал по радиолампам. Для закрепления полученных знаний и освоения практических навыков был разработан стенд для проведения лабораторных работ.

## Литература

- [1] Кашкаров А.П. Электронные устройства для уюта и комфорта. М., ДМК Пресс, 2010.
- [2] Слушаем буфер FX-Audio TubeE-01 в стоке и на бж1п, на бж38п, бж5п. *HIFI-audio.ru*: веб-сайт. URL: <http://hifi-audio.ru/archives/10691> (дата обращения: 10.10.2018).
- [3] Сидоров И.Н. Самодельные электронные устройства для дома. СПб., Лениздат, 1996.
- [4] Щука А.А. Электроника. СПб., БХВ-Петербург, 2005.
- [5] Мясоедов А. Что такое электрический ток и каковы условия его существования. *Сам электрик*: веб-сайт. URL: <https://samelectrik.ru/chto-takoe-elektricheskij-tok.html> (дата обращения: 10.10.2018).
- [6] Адаменко М.В. Секреты ламповых усилителей низкой частоты. М., НТ Пресс, 2007.
- [7] Teslaspule mit Trigratron. *Rapp-instruments*: веб-сайт. URL: <http://www.rapp-instruments.de/tesla-coils/Trigratron/trigratron.htm> (дата обращения: 10.10.2018).
- [8] Гендин Г.С. Высококачественные ламповые усилители звуковой частоты. М., Радио и связь, 1997.
- [9] Гендин Г.С. Всё о радиолампах. М., Горячая Линия–Телеком, 2002.
- [10] Хартов В.Я., Крутяков М.А. Информационно-измерительная система для диагностики технического объекта. *Технологии инженерных и информационных систем*, 2017, № 2, с. 91–99.
- [11] Глушко А., Гладких А.А., Семенцов С.Г. Схемотехническое проектирование элементов аналоговых устройств. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.
- [12] Арабов Д.И., Лукин Г.Д., Цивинская Т.А. Микрофонный усилитель на фантомном питании. *Технологии инженерных и информационных систем*, 2018, № 2, с. 48–57.

**Олисеви́ч Евге́ний Алекса́ндрови́ч** — студент кафедры «Конструирование и технология электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Васи́н Юри́й Оле́гович** — студент кафедры «Конструирование и технология электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Циви́нская Та́тьяна Анато́льевна** — учебный мастер кафедры «Конструирование и технология электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

## LABORATORY STAND FOR CONDUCTING EXPERIMENTAL RESEARCH WITH AMPLIFIED LAMPS

E.A. Olisevich

jenia1702@gmail.com

SPIN-code: 2369-3990

Yu.O. Vasin

yury97@mail.ru

SPIN-code: 5041-2746

**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

---

### Abstract

*A laboratory stand designed for the mastering of theoretical and practical skills in working with vacuum tubes of various kinds was developed and assembled. The need to develop this stand is associated with the emerging need for the introduction of vacuum lamps to technology. The principle of operation and characteristics of vacuum tubes, their main classification and the key advantages of their application in the field of modern electronic equipment were considered in detail. Definitions of vacuum tubes parameters are obtained, graphical dependences of these parameters are given. The main methods of using a laboratory test stand to obtain various parameters and characteristics are described, which contributes to the practical learning by students of the theoretical material obtained in lectures.*

### Keywords

*Laboratory stand, electron tube, vacuum tube, thyratron, field emission lamps, cathode, anode, electron beam devices*

Received 17.12.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

---

### References

- [1] Kashkarov A.P. Elektronnyye ustroystva dlya uyuta i komforta [Electronic devices for coziness and comfort]. Moscow, DMK Press, 2010 (in Russ.).
- [2] Slushaem bufer FX-Audio TubeE-01 v stoke i na 6zh1p, na 6zh38p, 6zh5p [Listening to FX-Audio TubeE-01 buffer at the drain and with 6zh1p, 6zh38p, 6zh5p]. *HIFI-audio.ru*: website (in Russ.). URL: <http://hifi-audio.ru/archives/10691> (accessed: 10.10.2018).
- [3] Sidorov I.N. Samodel'nye elektronnyye ustroystva dlya doma [Home-made electronics devices]. St.-Petersburg, Lenizdat Publ., 1996 (in Russ.).
- [4] Shchuka A.A. Elektronika [Electronics]. Sankt-Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2005 (in Russ.).
- [5] Myasoedov A. Chto takoe elektricheskii tok i kakovy usloviya ego sushchestvovaniya [What is electric current and conditions of its existence]. *Sam elektrik*: website. 6 (in Russ.). URL: <https://samelektrik.ru/chto-takoe-elektricheskij-tok.html> (accessed: 10.10.2018).
- [6] Adamenko M.V. Sekrety lampovykh usiliteley nizkoy chastoty [Secrets of vacuum-tube amplifiers with low frequency]. Moscow, NT Press Publ., 2007 (in Russ.).
- [7] Teslaspule mit Trigatron. *Rapp-instruments*: website (in Russ.). URL: <http://www.rapp-instruments.de/tesla-coils/Trigatron/trigatron.htm> (accessed: 10.10.2018).
- [8] Gendin G.S. Vysokokachestvennyye lampovye usiliteli zvukovoy chastoty [High quality vacuum-tube amplifiers of audio frequency]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1997 (in Russ.).



- [9] Gendin G.S. Vse o radiolampakh [Everything about radio tubes]. Moscow, Goryachaya Liniya–Telekom Publ., 2002 (in Russ.).
- [10] Khartov V.Ya., Krutyakov M.A. Information and measurement system for technical object diagnostics. *Tekhnologii inzhenernykh i informatsionnykh system* [Technologies of Engineering and Information Systems], 2017, no. 2, pp. 91–99 (in Russ.).
- [11] Glushko A., Gladkikh A.A., Sementsov S.G. Skhemotekhnicheskoe proektirovanie elementov analogovykh ustroystv [Schematic design of analogue devices elements]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2017 (in Russ.).
- [12] Arabov D.I., Lukin G.D., Tsivinskaya T.A. The microphone amplifier on phantom power. *Tekhnologii inzhenernykh i informatsionnykh system* [Technologies of Engineering and Information Systems], 2018, no. 2, pp. 48–57 (in Russ.).

**Olisevich E.A.** — Bachelor's Degree Student, Department of Electronic Equipment Design and Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Vasin Yu.O.** — Bachelor's Degree Student, Department of Electronic Equipment Design and Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — T.A. Civinskaya, Technician, Department of Electronic Equipment Design and Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.