

УДК 621.37-621.39(091)

Конкуренты аудиона на рынке радиотехнологий

Пестриков В. М.

*Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения
ул. Правды, д. 13, Санкт-Петербург, 191119, Российская Федерация
pvm205@yandex.ru*

Получено после доработки: 24 марта 2022 г.

Отрецензировано: 30 марта 2022 г.

Принято к публикации: 30 марта 2022 г.

Аннотация: В статье исследована новаторская работа по разработке электронной лампы, сделанная немецкими радиотехниками Робертом фон Либеном, Евгением Рейсом и Зигмундом Штраусом в 1910—1914 гг. в лабораториях в Вене и Берлине. Результаты их исследований привели в Германии к разработке реле LRS, так называемой «Lieben Tube». Результаты работы этих лабораторий сравниваются с разработками по ламповым триодам американского радиотехника Ли де Фореста. Показана значимость технологии триода LRS в истории радиоэлектроники. На этом триоде был собран первый практический генератор высокочастотных колебаний.

Ключевые слова: электронная лампа, газоразрядная лампа, лаборатория Либена, Рейса и Штрауса, Lieben Tube, Ли де Форест, Реле LRS, консорциум Либена, лампа LRS Relay.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. Конкуренты аудиона на рынке радиотехнологий // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2021. Т. 4, № 4. С. 322—352.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): Пестриков, В. М. Конкуренты аудиона на рынке радиотехнологий / В. М. Пестриков // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2021. — Т. 4, № 4. — С. 322—352.

Audion Competitors in the Radio Technology Market

V. M. Pestrikov

*St. Petersburg State University of Film and Television
13, Pravda Str., St. Petersburg, 191119, Russian Federation
pvm205@yandex.ru*

Received after completion: March 24, 2022

Peer-reviewed: March 30, 2022

Accepted: March 30, 2022

Abstract: *The article examines the pioneering work on the development of the vacuum tube, done by German radio technicians Robert von Lieben, Eugene Reis and Sigmund Strauss in 1910–1914 in laboratories in Vienna and Berlin. The results of their research led to the development of the LRS relay, the so-called “Lieben Tube”, in Germany. The results of the work of these laboratories are compared with the developments on tube triodes of the American radio engineer Lee de Forest. The significance of the LRS triode technology in the history of radio electronics is shown. The first practical high-frequency oscillator was assembled on this triode.*

Keywords: *vacuum tube, gas discharge tube, Lieben, Reis and Strauss laboratory, Lieben Tube, Lee de Forest, LRS relay, Lieben consortium, LRS Relay tube.*

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov “Audion Competitors in the Radio Technology Market,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 4, no. 4, pp. 322–352, 2021. (In Russ.).

1. Введение

Основные разработки усилителей электрических сигналов с использованием трехэлектродных вакуумных ламп (аудионов) проводились в США [1]. Усилительное устройство на аудионе не удавалось построить длительное время. Проблема была решена в 1911 г., когда было осознано Фрицем Левенштейном, что режим работы аудиона зависит от знака и величины электрических потенциалов на его электродах [2]. Ему первому удалось построить работающий усилитель звуковой частоты, в котором небольшое отрицательное смещение на сетку аудиона осуществлялось гальваническим элементом. К этому изобретению его, по всей видимости, подтолкнула информация о работах австрийского физика Роберта фон Либена.

В настоящей статье рассматриваются исследования Роберта фон Либена, которые сыграли заметную роль в разработке усилителя звуковой частоты на ламповом газонаполненном парами ртути триоде *LRS*. Показано, что этот триод явился в некоторой степени конкурентом аудиона Ли де Фореста, но проигрывал ему в технологичности. Все это привело к доминированию аудиона в радиоустройствах и отказа от триода *LRS*.

В 1906 г. австрийский физик Роберт фон Либен (нем. *Robert von Lieben*) получил немецкий патент DE179807A на вакуумную лампу с управлением электронных потоков внешним магнитным полем. Эта первая усилительная электронная лампа предназначалась для усиления телефонных сигналов [3]. Достигнутый на тот момент этап развития технологии усиления электрических сигналов отвечал уровню вакуумной техники со всеми её достоинствами и недостатками. Вакуумный насос должен был постоянно подключен к лампе для поддержания необходимого уровня разрежения воздуха в её колбе. Несмотря на практическую направленность, лампа фон Либена оставалась устройством, представляющим только научный интерес, поскольку его невозможно было превратить в коммерческий продукт из-за сложности изготовления вогнутого катода и поддержания постоянной степени разреженности. К этому следует добавить, что кроме сложности конструкции электронно-лучевое реле представляло определённые трудности при его практическом использовании. Генерация мощного электронного пучка и его фокусировка вогнутым зеркальным катодом оставались недостаточными для удовлетворительной работы устройства. Электронно-лучевое реле имело большие габариты и работало не очень стабильно. Эти соображения побудили фон Либена и сотрудников его лаборатории использовать другие принципы при построении реле. Поэтому с 1907 г. Роберт фон Либен предпринял дальнейшие усилия, чтобы довести первую конструкцию усилительной лампы до практического внедрения в телекоммуникационные системы.

2. Особенности патентов на трехэлектродную радиолампу фон Либена

Научно-исследовательские работы Роберта фон Либена, проведенные в течение четырех лет совместно с Евгением Рейсом (*Eugen Reisz*) и Зигмундом Штраусом (*Siegmund Strauss*), позволили значительно улучшить усилитель на катодном реле. В марте 1910 г. сотрудниками «*Laboratorium Reisz und Strauss*» (*LRS*¹) был оформлен австрийский патент

¹ Сокращенно *LRS* может также быть расшифровано как *Lieben, Reisz, Strauss*.

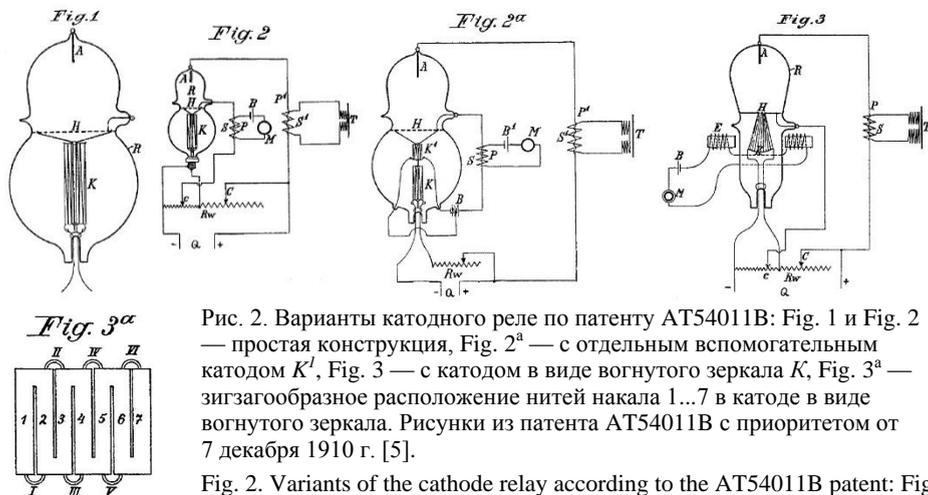


Рис. 2. Варианты катодного реле по патенту АТ54011В: Fig. 1 и Fig. 2 — простая конструкция, Fig. 2^а — с отдельным вспомогательным катодом K' , Fig. 3 — с катодом в виде вогнутого зеркала K , Fig. 3^а — зигзагообразное расположение нитей накала 1...7 в катод в виде вогнутого зеркала. Рисунки из патента АТ54011В с приоритетом от 7 декабря 1910 г. [5].

Fig. 2. Variants of the cathode relay according to the АТ54011В patent: Fig. 1 and Fig. 2 – a simple design, Fig. 2^a – with a separate auxiliary cathode K' , Fig. 3 – with a cathode in the form of a concave mirror K , Fig. 3^a – a zigzag arrangement of filaments 1...7 in the cathode in the form of a concave mirror. Figures from patent АТ54011В with priority dated December 7, 1910 [5]

го поля на электрическую дугу [3]. В другой конструкции реле, также сотрудника компании GE, И. Вайнтрауба², для управления электрическим током дуги в баллон ртутной лампы был введен дополнительный электрод. Устройство Вайнтрауба (рис. 3) предназначалось для работы в качестве приемника или детектора электромагнитных волн в системе беспроводного телеграфа [6]. Пришедшая на антенну 10 электромагнитная волна вызывала протекание тока во входном контуре 8-7, который создавал условия для появления искры между дополнительным электродом 5 и ртутью 4. Эта искра производила ионизацию поверхности ртути таким образом, что возникала проводимость в пространстве между анодом 6 и поверхностью ртути 4, которая способствовала зажиганию дуги с помощью электрического тока от источника 11. Свечение дуги являлось своеобразным индикатором о приеме сигнала. Дуга во время приема электромагнитных волн то зажигалась и гасла, то опять зажигалась и гасла, как только возникала искра между дополнительным электродом 5 и ртутью 4. В этом устройстве усиливаемые токи подавалась на дополнительный электрод

² Иезекииль Вайнтрауб (*Ezechiel Weintraub*, 04.07.1874—19??), российско-американский химик. Родился в Российской империи городе Могилев. В 1901 г. присоединился к исследовательской лаборатории Уиллиса Уитни (*Willis Whitney*) в *General Electric Co.*, в которой занимался разработкой конструкций ртутных ламп. В 1909 г. использовал водород для восстановления галогенидов бора, чтобы получить 99 % чистый бор. Автор около 200 патентов на изобретения.

трод 5, а затем накладывались на электрический ток дуги. Таким образом получали усиление колебаний тока.

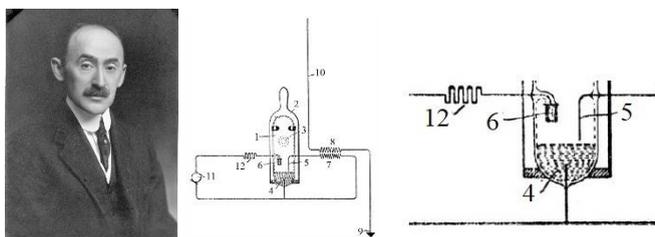


Рис. 3. Иезекииль Вайнтрауб и его приемник электромагнитных волн для системы беспроводного телеграфа [6]. 1903 г.

Fig. 3. Ezechiel Weintraub and his receiver of electromagnetic waves for the wireless telegraph system [6]. 1903

Далее в патенте [5] приводится сравнительный анализ принципов работы первой лампы Либена и аудиона де Фореста:

«Фон Либен ранее предлагал устройство, основанное на другом принципе. В газоразрядной трубке с откачанным газом (трубка Венельта) генерировался пучок катодных лучей, на который влияло электромагнитное поле токов, которые необходимо усилить, и, таким образом, он мог достигать пропорциональных изменений тока... Другой метод воздействия на электронный поток был предложен де Форестом, он разместил в газоразрядной трубке вспомогательный электрод, который изолирован от источника постоянного тока конденсатором и выполнен в виде сетки или сита. Усиливаемые токи пропускались через катод и вышеупомянутый электрод. Ионизация в разрядной трубке, которая была приблизительно пропорциональна этим токам, вызывала соответствующие изменения в токах, идущих от анода к катоду».

Авторы патента увидели недостаток конструкции лампы де Фореста в расположении её электродов. В этом случае из-за вентильного действия раскаленного катода только полуволны могут проходить между катодом и другими электродами, поэтому невозможно выделить переменные токи той же частоты и формы волны, что и усиливаемые токи. Помимо этого, могут быть преобразованы только очень слабые токи, так как при большей плотности тока вокруг вспомогательного электрода образуется побочное дугообразное замыкание, что делает невозможным любое пропорциональное усиление.

В реле, описанном в патенте АТ54011В, изменение ионизации пространства, расположенного между двумя электродами (например, с помощью катодных лучей), влияет на сопротивление цепи, подключенной к

электроду, что вызывает пропорциональные колебания для усиливаемых переменных токов.

Нужно заметить, что патент на «Реле для переменных токов» был оформлен фон Либеном и его коллегами не только в Австрии (AT54011B), но и в Германии (DE249142A), Великобритании (GB191101482A), США (US1038910A), Франции (FR13726E) и других странах. Только в австрийском и немецком патентах упоминается имя де Фореста и его аудион с сеткой. Тексты всех патентов отличаются незначительно, за исключением некоторых формулировок, в то время как формула изобретения везде одна и та же. В патентах, полученных в Австрии, Германии, Великобритании и Франции авторами изобретения указаны Либен, Рейс и Штраус. Только в патенте, полученном в США указано два автора, Либен и Рейс, а Штраус отсутствует.

В немецком патенте DE249142A чётко сформулирован предмет изобретения [7]: «Предметом настоящего изобретения является еще одно воплощение вышеупомянутого принципа, в котором на сопротивление в главной цепи воздействуют прямо, а не косвенно, с помощью ионизатора, а именно с помощью вспомогательного электрода, на который подаются токи, которые надо усилить».

Для этой цели, вспомогательный электрод имеет форму решётки или сетки. Он устроен таким образом, что полностью разделяет пространство между катодом и анодом в разрядной трубке. Этот электрод, кроме того, подключен к источнику постоянного тока таким образом, что имеет точно определенный потенциал, соответствующий желаемому усилению в каждом случае. Для установки соответствующего потенциала между электродом и источником питания необходимо подключить переменный резистор. Этим в первую очередь достигается цель, которая заключается в устранении вентильного действия раскаленного катода, поскольку усиливаемый переменный ток накладывается на постоянный ток, в результате чего он становится переменным.

Расположение сетки между катодом и анодом необходимо выбирать с учетом постоянной величины её потенциала, который вызывает образование искусственного темного пространства у катода, то есть ионов вокруг отверстий вспомогательного электрода по направлению к аноду, что приводит к увеличению сопротивления главной цепи, а отсюда к значительному повышению воздействия на неё. Это перемещение наибольшего градиента потенциала в окрестностях и отверстиях вспомогательного электрода, а также тот факт, что этот сеточный электрод полностью заполняет поперечное сечение разрядных трубок, позволяют использовать токи практически любой силы, поскольку дуговое соединение за предела-

ми сетки здесь невозможно, а создание искусственного темного пространства на катоде чрезвычайно затрудняет работу в отверстиях сетки.

Отверстия или сужения, как хорошо известно, образуют сопротивление для газового разряда, и, как обнаружили авторы изобретения, оно может быть изменено очень значительно. Для этого надо приложить постоянное (регулируемое) напряжение между катодом и сеткой. При этом сопротивление может оказаться маленьким или большим даже при очень небольшом увеличении или уменьшении разности напряжений. В этом случае усиливаемые токи влияют на сопротивление вспомогательного электрода, в результате чего токи, проходящие через катод и анод, изменяются пропорционально этому сопротивлению. Эксперименты авторов, для обеих схем ламп, приведённых в патенте, показали, что отверстия в сетке должны быть разного размера для пропорционального воспроизведения переменных токов.

Описанное выше катодное реле для переменных токов может использоваться в качестве усилителя звука, в реле в проводной и кабельной телефонии, в местном и междугороднем трафике, а также в телеграфии и телефонии, во вспомогательном устройстве для телеграфона и в устройствах связи, в фотоэлементах для передачи электрического изображения и т. д.

Формула изобретения патента АТ54011В содержит 5 пунктов, приведем формулировку первого пункта, основного в этом патенте [5]: «Реле для переменных токов по патенту № 48172, в котором изменение электропроводности, вызванное ионизатором, происходит с помощью вспомогательного электрода в форме сетки или сита, отличающееся тем, что вспомогательный электрод полностью разделяет пространство между катодом и анодом, подключён к постоянному, но регулируемому напряжению, так, что создается область обеднения ионов (темное пространство катода), которое зависит от этого напряжения, в результате чего токи, которые должны усиливаться, влияют на эту область обеднения, так, что в результате изменения сопротивления усиливаемый ток претерпевает изменения, пропорциональные изменениям сопротивления».

Заметим, что в приведенном выше тексте австрийского патента АТ54011В отмечается факт приоритета изобретения триода Ли де Форестом, если бы этого не было, то патент не мог бы быть выдан и дальнейшие претензии на изобретение были беспочвенными. Таким образом, авторы используют более обширные патентные притязания, чем Ли де Форест, с целью дальнейшего оправдания в получении патента. Группа фон Либен — Рейс — Штраус получила немецкий патент DE249142А только 12 июля 1912 г. В этом патенте, на самом деле, содержится совершенно

другая идея, больше относящаяся к лампе Либена (Ли де Фореста), чем к лампе *Lieben-Relais* (реле: нем. *relais*, англ. *relay*), которая имела габариты, сравнимые с ростом человека (1906 г.) [3], а её конструкция значительно отличалась от лампового реле по патенту DE48172A.

3. Конструкция трехэлектродной радиолампы *LRS*

Новая усилительная лампа фон Либена представляла собой стеклянный баллон высотой около 22 см, верхняя половина которого имела форму стеклянной крышки, а нижняя часть была выполнена в виде сферы. В качестве сетки триода использовался лист алюминия с отверстиями 3,5 мм в форме круга, установленный в центре баллона. Баллон делился сеткой на две части. В верхней части лампы находился анод, а в нижней — нить накала. Такое расположение сетки позволяло усиливать ее управляющее действие, так как через нее проходил весь электронный поток. Она служила также некоторой защитой для нити накала, предохраняя ее от разрушительной бомбардировки положительными ионами.

На сетку подавался входной электрический сигнал. Здесь прослеживается знакомство разработчиков с работами Ли де Фореста. При такой конструкции, как известно, отрицательный заряд на сетке уменьшал анодный ток, так как она отталкивала электроны, вылетевшие из катода, в то время как, положительный заряд его увеличивал, Fig. 1, Fig. 2, Fig. 2a на рис. 2.

В лампе анод сделан в виде спирали из алюминиевой проволоки. Катод представлял собой зигзагообразную полосу из вольфрама, покрытую слоем окиси бария для увеличения тока эмиссии. Его крепление было сделано на стеклянной ножке, подобно осветительным лампам того времени.

Из стеклянного баллона был выкачан воздух и он был наполнен парами ртути при давлении 0,001 мм рт. ст. при температуре 20 °С. Это по замыслу авторов изобретения должно было создавать дополнительную ионизацию и увеличивать тем самым анодный ток. Выбор паров ртути в качестве газового наполнителя лампы связан с их лучшей ионизируемостью или проводимостью. Ионизация увеличивается с ростом плотности рассеянного поля и, таким образом, рассеяние еще более усиливается, и небольшое изменение напряжения на сетке приводит к большим изменениям тока разряда (рис. 4) [8]. Замеченная зависимость напряжения на сетке от значений тока разряда через газ и привела к созданию газового реле, которое по своей простоте и высокой чувствительности намного превосходило все предыдущие подобные устройства.

Контроль поддержания постоянного давления паров ртути, необходимого для стабильной работы усилительной лампы, осуществлялся двумя

способами. По первому способу на стеклянный баллон с помощью гравировки, несколько выше плоскости сетки, наносилась вертикальная шкала миллиметрового типа. По шкале определялась оптимальная высота темного пространства, которое находилось под голубым ионизированным газом. Второй способ заключался в размещении лампы в специальном термостате, изготовленном по патенту DRP293460. В термостате в качестве указателя выбора оптимальных условий эксплуатации служила вертикальная шкала.

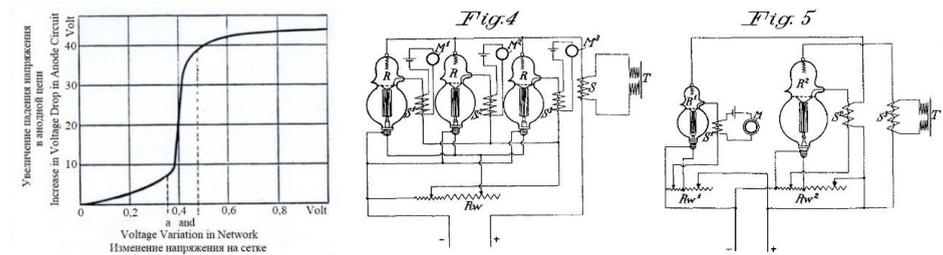


Рис. 4. Зависимость изменения анодного напряжения от напряжения на сетке лампы *LRS* [8].
Варианты каскадного включения ламп *LRS* с целью получения большой мощности усиления звукового сигнала по патенту FR13726E (1910 г.) [9].

Fig. 4. Dependence of the change in the anode voltage on the voltage on the grid of the *LRS* tube [8].
Variants of cascading switching of *LRS* tube, in order to obtain high power amplification of the sound signal according to patent FR13726E (1910) [9]

Во второй конструкции (лампы с электромагнитным управлением) возле катода были установлены катушки индуктивности с магнитным сердечником (рис. 2, Fig. 3), подобно тому, как это сделано в патенте Фореста (US841387A с приоритетом от 25.10.1906). Оригинальность такой конструкции лампы заключалась в том, что сетка располагалась между катодом и анодом и предназначалась для увеличения усиления лампы за счет ослабления влияния поля анода на катод. Для тех же целей это было сделано позже немецким физиком В. Шоттки, который в 1915 г. ввел вторую экранную сетку в трехэлектродную лампу.

Ламповые усилительные устройства, представленные в патенте AT54011B (рис. 2) — это еще не электронные лампы с высоким вакуумом, разработанные позже в США (в 1913 г.), а электронные усилительные лампы, для работы которых все еще нужны были электроны, генерируемые ударной ионизацией атомов ртути. В новой лампе Либена электронный поток управлялся электростатически, с помощью сетки, расположенной между катодом и анодом, при этом вакуум все еще содержал следы паров ртути. В настоящее время ламповое усилительное устройство (рис. 2, Fig. 1, Fig. 2) известно как, трехэлектродная лампа конструкции

Либена — Рейса — Штрауса или сокращенно триод *LRS*. Впечатляют технические характеристики триода *LRS*: длина 22 см; диаметр 8,5—10,5 см; коэффициент усиления 3,5—4; срок службы около 400 часов.

Во французском патента FR13726E [9] показано несколько вариантов получения большого усиления от лампы *LRS*, в частности, за счет увеличения напряжения в её главной цепи и путем параллельного или последовательного соединения нескольких газоразрядных трубок, рис. 4 Fig. 4.

Другой способ повышения усиления лампы показан на рис. 4 Fig. 4. В этом варианте используется предварительный каскад усиления на лампе R^1 , с которого усиленные электрические колебания передаются на сетку лампы R^2 выходного каскада мощности.

К концу 1910 г. конструкция усилительной лампы *LRS* была значительно усовершенствована и оставалось только найти заинтересованные в её производстве компании.

4. Создание консорциума

При поддержке профессора Вальтера Нернста 3 августа 1911 г. Роберт фон Либен устроил демонстрацию первого лампового усилителя звуковой частоты на триоде *LRS* перед представителями немецкой промышленности в Институте физической химии в Берлинском университете (нем. *Institut für Physikalische Chemie der Universität Berlin*), расположенном на Доротиенштрассе (нем. *Dorothienstrasse*) в Берлине. На демонстрации присутствовали представители *Siemens & Halske AG*, *Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG)*³, *Felten & Guillaume Carlswerk AG*, *Gesellschaft für drahtlose Telegraphie GmbH u Telefunken* [10].

Проведение презентации лучше всего можно описать словами Штрауса [11]:

«Для этой демонстрации мы сделали два дорожных чемодана. Первый чемодан (рис. 5), содержал с обеих сторон две трубки Либена, каждая с железоводородным балластным резистором. Он был устроен так, чтобы лампы могли быть включены в цепь с помощью многополюсного переключателя. Таким образом можно было подвести ток от микрофона непосредственно к головному телефону или путем переключения через обе усилительные лампы последовательно с громкоговорителем, имеющим деревянный рупор от фонографа.

³ AEG (нем. *Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft*, англ. *General Electric Company*, рус. Всеобщая электрическая компания — немецкая компания, специализировавшаяся в области электроэнергетики и машиностроения. В 1903 г. вместе с *Siemens & Halske* основали компанию *Gesellschaft für drahtlose Telegraphie System Telefunken* (хорошо известную как *Telefunken*).

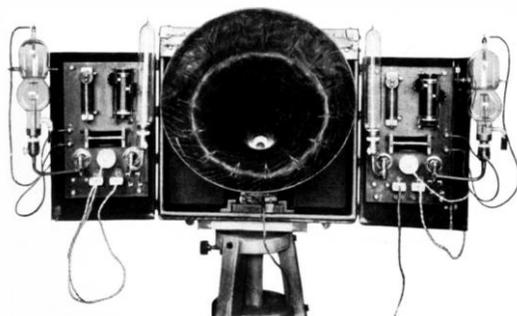


Рис. 5. Ламповый усилитель Либена в «дорожном чемодане» во время демонстрации в Берлине [4, s. 253]. Роберт фон Либен и Анна Шиндлер (1911 г.).

Fig. 5. Lieben tube amplifier in a “travel suitcase” during a demonstration in Berlin [4, s.253]. Robert von Lieben and Anny Schindler (1911)

Во втором чемодане мы установили ящик сопротивлений и коробку рядом с источником питания для микрофона. Таким образом мы могли бы пошагово переключать блок сопротивлений и постепенно уменьшать ток микрофона от нормальной громкости до почти неслышимой. Но с помощью многополосного переключателя эти неслышимые голосовые сигналы усиливались через две лампы. Затем вдруг речь послышалась с полной ясностью, так громко, что ее поняли в последнем ряду большой аудитории Института физической химии. Демонстрация произвела потрясающее впечатление. Все присутствующие были поражены, можно даже сказать, что они были вне себя!»

Благодаря проведенной демонстрации усилительным ламповым устройством заинтересовались немецкие радиотехнические и электротехнические фирмы.

21 октября 1911 г. Либен женился на дочери венского купца актрисе Анне Шиндлер (*Anna Schindler*), внучке местного австрийского поэта Юлиуса фон дер Трауна (*Julius von der Traun*), который также некоторое время работал в Бургтеатре⁴ (нем. *Burgtheater*), рис. 5. Штраус писал по этому поводу [6]: «Он нашел красивую жену, когда взошел на пик своей жизни и добился успеха в своей работе, как только она появлялась в известном Бургтеатре в Вене».

⁴ Бургтеатр находится в самом центре Вены, по соседству с дворцовым комплексом Хофбург. Этот старейший драматический театр Австрии был учрежден в 1748 году и изначально назывался «Королевский театр при дворце». Современный театральный зал вмещает 1340 зрителей. Сцену от зала отделяет тяжелый железный занавес весом около 16 тонн. Такая система способна в случае непредвиденной ситуации отделить сцену от зрительного зала меньше, чем за полминуты.

В 1912 г. лабораторные испытания лампы Либена показали, что она имеет технические параметры, которые удовлетворяют требованиям практического её использования. Роберт фон Либен сначала хотел передать свое изобретение небольшой компании для коммерческого использования, но профессор Нернст не советовал это делать и рекомендовал обратиться к владельцам крупной промышленности.

В феврале 1912 г. Нернст пригласил г-на Эмиля Ратенау⁵, Вильгельма фон Сименса⁶ и близкого друга графа Арко⁷ в Институт физической химии Берлинского университета, который в то время находился под руководством Нернста, чтобы ознакомить их с изобретением Роберта фон Либена. В этом случае было продемонстрировано усилительное устройство с громкоговорителем, показанное на рис. 5.

Во время демонстрации микрофон находился в отдельной комнате и был соединен проводами со звуковым усилителем Либена, установленным в большом лекционном зале института. Обычный разговор и пение воспроизводились настолько громко, что его было слышно во всем зале. Поразительно, что речь, временами сильно ослабленная входными резисторами, могла быть снова слышна на том же уровне громкости без искажений после переключений регулятора громкости при включенном усилителе. Граф Арко вспоминал об этой демонстрации [12]: «При посредничестве профессора Нернста нам показали усилитель на катодной лампе Роберта фон Либена, предназначенный для усиления звуковых частот в телефонных линиях. Нам сразу стало ясно, что лампа должна быть намного более надежной и эффективной для таких целей, чем только что представленная конструкция».

Вскоре, 12 февраля 1912 г., было подписано соглашение между присутствовавшими на презентации 3 августа 1911 г. компаниями о создании консорциума, получившего название «Консорциум Либена» (*Lieben consortium*). Соглашение предусматривало передачу прав, принадлежавших физическому Роберту фон Либену, на изобретенную им усилительную лампу по немецкому патенту DRP249142 созданному консорциуму.

⁵ Эмиль Мориц Ратенау (нем. *Emil Moritz Rathenau*, 11.12.1838—20.06.1915) — немецкий предприниматель и машиностроитель. Основатель компании *AEG*. Считается первым предпринимателем-менеджером, который с самого начала завоевывал новые перспективные рынки на основе приобретаемых патентов, рисковал и применял агрессивные сбытовые стратегии.

⁶ Карл Вильгельм Сименс (нем. *Carl Wilhelm Siemens*, 04.04.1823—19.11.1883) — немецкий предприниматель. Член Лондонского королевского общества. Связал две области, в которых он вел исследования — металлургическую и электрическую.

⁷ Георг фон Арко (нем. *Georg Wilhelm Alexander Hans Graf von Arco*, 30.08.1869—05.05.1940) — немецкий радиотехник и электротехник, один из основателей, инженер и технический директор «*Telefunken*».

Роберт фон Либен продал консорциуму свои патенты за 100000 рейхсмарок. Согласно договору, эти патенты позволялось использовать только в европейских странах.

Консорциум Либена также согласился выделить финансы на дальнейшие необходимые исследования и разработки прототипа, а также связанные с ним схемы, предоставленные венской группой Либена. Соглашение было заключено в пропорции 45 % : 45 % : 10 % (*AEG-Telefunken : Siemens und Halske : Guilleaume Karlwerk AG*).

Альянс компаний, вошедших в консорциум, был высоко оценен и поддержан правительством Германской империи, так как это позволяло ей занять более прочные позиции среди ведущих мировых держав. Продвижение науки и промышленности имело решающее значение в получении политического, экономического и военного превосходства.

Компании, входившие в консорциум, имели свои определенные интересы в дальнейшем совершенствовании и использовании триода *LRS*.

Siemens & Halske была в основном заинтересована в разработке электронных усилителей звуковых сигналов. К этому моменту времени у нее был опыт эксплуатации механических телефонных реле, а также задел в научных исследованиях собственной физико-химической лаборатории, аналога лаборатории *General Electric*, по материалам для нитей накала электрических ламп. Это позволило компании сосредоточиться на разработке конструкции катодов вакуумных триодов с использованием материалов типа тантал и вольфрам. Разработчики знали, что технология создания высокого вакуума в баллоне триода гораздо сложнее, чем у ламп накаливания. Исходя из этого, они пошли по пути максимально возможного повышения коэффициента усиления триода *LRS* за счет эффектов ионизации.

Компания *AEG* только недавно начала конкурировать с *Siemens & Halske* на рынке техники телефонной проводной связи. И поэтому она была в первую очередь заинтересована в разработке телефонных усилителей на триодах *LRS*, чтобы отказаться от технологии пупинизации кабелей, патентными правами на которую владела *Siemens & Halske*. Техническим совершенствованием триода *LRS* должна была заниматься, в основном, ее дочерняя компания *Telefunken*.

С другой стороны, интересы компании *Telefunken* лежали в области беспроводной телеграфии, и ей был необходим хороший высокочастотный усилитель. До этого компания провела испытания клапанов Флеминга и некоторых устройств Ли де Фореста, но решила от них отказаться из-за их нестабильной работы и недолговечности. Компания, тем не менее, занялась усовершенствованием триода *LRS*, рассматривая его в качестве

альтернативы построения многокаскадных электронных высокочастотных усилителей, чтобы избежать покупки патентов де Фореста.

5. Производство триодов *LRS Relay*

Разработка реле *LRS (Liebenröhre)* для промышленного производства производилась в Берлине в двух местах. С одной стороны, на кабельной фабрике *AEG* в Оберспрее (нем. *Kabelwerk Oberspree*). Недалеко от Берлина компании *Felten & Guillaume* и *Telefunken* основали лабораторию, которую возглавил Евгений Рейс. Штраус остался в венской лаборатории, чтобы поддерживать тесную связь с фон Либеном, который из-за болезни был прикован к постели. С другой стороны, *Siemens & Halske* начала свою работу в собственной *Pupin Laboratorium*.

AEG до начала производства реле *LRS (Liebenröhre)* несколько изменила её конструкцию и получила на новый вариант лампы патент DE264554A «Газоразрядная лампа с накаливаемым катодом и закрытым пароотводящим корпусом» (нем. *Entladungsröhre mit glühender Kathode und eingeschlossenem, dampflieferndem Körper*) от 15 октября 1912 г. Эта лампа со временем стала известна как *LRS Relay* или *LRS Repeater*, рис. 6. Главное отличие лампы *LRS Relay* от *LRS (Liebenröhre)* в том, что ней все выводы от анода, сетки и нити накала сделаны на цоколь, в то время как в прототипе у анода был отдельный вывод в верхней части стеклянного баллона лампы. Другая её особенность была отмечена в формуле изобретения [13]: «Разрядная лампа с накаливаемым катодом и закрытым пароотводящим корпусом, отличающаяся тем, что все подводящие провода к различным электродам вплавлены в общей точке на стеклянной стенке, нагретой током разряда или катодом, во избежание поверхностной конденсации пара».

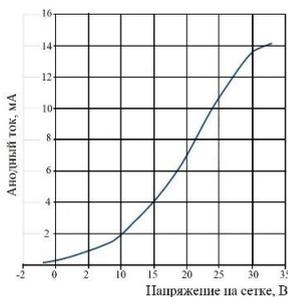


Рис. 6. Анодно-сеточная характеристика лампы *LRS Relay Groß* (1913 г.), снятая с коллекционного образца в 2018 году [14].

Fig. 6. Anode-grid characteristic of the *LRS Relay Groß* tube (1913), taken from a collection sample in 2018 [14]

В 1912 г., 1 марта, компания *AEG* начала подготовку к серийному производству триодов *LRS Relay*, но потребовалось ещё несколько месяцев, прежде чем была изготовлена первая серия ламп. Фактическое же производство ламп *LRS Relay* было запущено осенью того же года. Всего было произведено около 3000 ламп *LRS Relay*. В табл. 1 приведены основные технические параметры лампы *LRS Relay*, а на рис. 6 — анодно-сеточная характеристика лампы *LRS Relay Groß* (1913 г.), снятая с коллекционного образца в 2018 г. [14]. Кривая на рис. 6 снята при следующих условиях: температура в помещении 22 °С, напряжение на аноде 250 В, сопротивление нагрузки анодной цепи 10 кОм, сопротивление нити накала 5,6 кОм, напряжение питания нити накала 30—32 В.

Табл. 1. Основные технические параметры триодной радиолампы *LRS Relay* с содержанием паров ртути

Table 1. Main technical parameters of *LRS Relay* triode radio tube containing mercury vapor

Параметр	Значение параметра
Производитель:	<i>AEG</i> (Германия)
Материал нити накала	платиновая лента, оксидное покрытие <i>BaO</i> и <i>CaO</i>
Напряжение накала (постоянное)	30 В
Ток накала (постоянный)	2 А
Напряжение анода (постоянное)	200 В
Ток анода (постоянный)	10—11 мА
Давление паров ртути	≈0,01 мм рт. ст.
Коэффициент усиления	≈33
Рабочая температура	15—30 °С
Время работы (срок службы)	1000—3000 часов
Габариты	≈ длина 300 мм, диаметр 100 мм

Анодно-сеточная характеристика лампы *LRS Relay Groß* (рис. 6) может быть использована практически только для этой лампы, так как разброс параметров у ламп этого типа очень большой, и они чувствительны к изменениям температуры окружающей среды. Помимо этого, важную роль играет качество ртутных паров.

Через некоторое время электронные усилители на триодах *LRS Relay* (рис. 7) производства *AEG*, предназначенные для проводной телефонии, были установлены на Императорском почтамте Берлина. Компания *Telefunken* рекламировала эти устройства как «универсальные усилители», у которых главным компонентом была электронная лампа *LRS Relay*. Триоды, выпускавшиеся компаниями *AEG* и *S & H*, имели некоторые отличия.

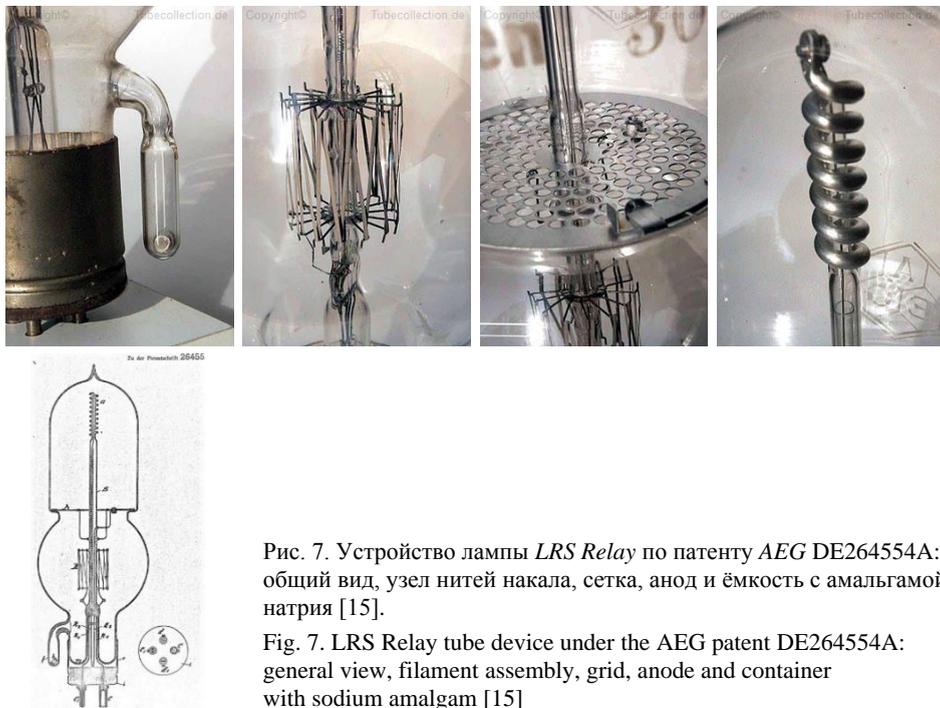


Рис. 7. Устройство лампы *LRS Relay* по патенту *AEG DE264554A*: общий вид, узел нитей накала, сетка, анод и ёмкость с амальгамой натрия [15].

Fig. 7. *LRS Relay* tube device under the *AEG* patent *DE264554A*: general view, filament assembly, grid, anode and container with sodium amalgam [15]

Компания *Siemens*, независимо от *AEG*, под руководством профессора Марчелло Пирани⁸ (*Marcello Stefano Pirani*, 01.07.1880—11.01.1968) усовершенствовала лампу Либена — Рейса — Штраусса. Эта лампа отличалась от модели *AEG* только конструкцией цоколя и бóльшими габаритами. Обе лампы работали с положительным смещением на сетке, рис. 8. Наилучшее усиление триода достигалось тогда, когда синие ионизированные пары ртути находились над сеткой на высоте около 1,59 дюймов (около 4 см). Для лучшего визуального контроля процесса усиления в лампе на отдельных их сериях были выгравированы на стеклянной колбе миллиметровые шкалы над сеткой.

Иногда в рабочем состоянии лампы для улучшения ее работы приходилось поднимать давление паров ртути внутри стеклянной колбы. Для этого нагревалась амальгама натрия (сплав натрия с ртутью), которая находилась в стеклянном отростке в нижней части колбы.

⁸ М. Пирани был с 1904 по 1915 гг. главным инженером компании *Siemens & Halske AG* в Берлине. В 1906 г. изобрел устройство для измерения давления в вакуумных системах (вакуумметр Пирани). Работа вакуумметра Пирани основана на том, что коэффициент теплопроводности убывает с уменьшением давления, а сопротивление металлов прямо пропорционально температуре.

В поздних моделях ламп *LRS Relay* сетки стали изготавливать из проволоки вместо перфорированной алюминиевой пластины. Лампы с сеткой из листового металла носили название «усилитель мощности» (нем. *Kraftverstärker*). Оба варианта ламп *LRS Relay* были выпущены в уменьшенной версии и имели высоту около 195 мм, что несколько меньше прототипа.

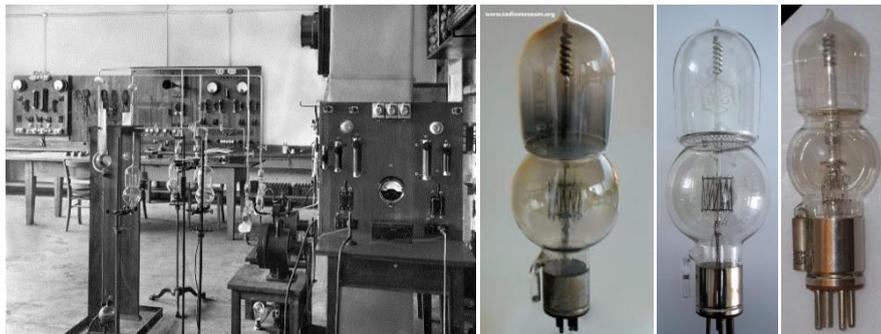


Рис. 8. Производство лампы *LRS Relay* в лабораториях *AEG* в Берлине [4, s. 254]. Образцы триодов *LRS*, производства компания *AEG*: большая лампа Либена *AEG* (1912 г.), малая лампа Либена *AEG* (1913 г.).

Fig. 8. Production of the *LRS relay* in the *AEG* laboratories in Berlin [4, s. 254]. Samples of *LRS Relay* triodes manufactured by *AEG*: Liebenröhre *AEG* gross (1912), Liebenröhre *AEG* klein (1913)

В апреле 1912 г. произошло крушение океанского лайнера «Титаник», которое имело далеко идущие последствия для политики в области телекоммуникаций. В июне 1912 г. в Лондоне открылась Третья Международная радиотелеграфная конференция, которая положила конец монополии *Marconi Company*, введя принцип взаимосвязанности между радиотелеграфами. На этой конференции *Telefunken* смог продемонстрировать свое новое радиотехническое оборудование, в частности, усилители на лампе *LRS Relay*, разработанные *AEG*. Лампы привлекли всеобщее внимание участников своей эффектной расцветкой, темно-красным свечением катода и небесно-голубым свечением паров ртути, а также своим дизайном, позволяющим использовать их в качестве украшения стола. Немецкие усилительные лампы произвели впечатление на представителей *Marconi Company*, которая отставала в этой области. Через несколько месяцев *Marconi Co.* и *Telefunken* подписали соглашение о совместной разработке ламп и оборудования. Сотрудник *Marconi Co.* капитан Раунд должен был сосредоточиться на разработке приемных ламп, а *Telefunken* — на разработке передающих ламп. Заключенным соглашением компании также уре-

гулировали судебные тяжбы по патентным правам между ними во всех странах, кроме США. Это соглашение просуществовало недолго из-за начала Первой мировой войны [16].

Через два года после свадьбы в груди Либена была обнаружена опухоль, и, несмотря на оперативное лечение рентгеновскими лучами, 20 февраля 1913 г. он скончался. Роберту фон Либену, как выдающемуся ученому и человеку, посвятили некрологи такие известные личности того времени, как Гуго фон Хофмансталь⁹ (нем. *Hugo von Hofmannsthal*), Вальтер Нернст (нем. *Walter Nernst*) и Альберт Эйнштейн (нем. *Albert Einstein*).

6. Применение триодов *LRS Relay* в радиоаппаратуре

В *AEG Werk Oberspree* в Берлине Евгений Рейс и Александр Мейснер вскоре разработали схемы, подходящие для практического применения лампы *LRS Relay* в двухсторонних телефонных ретрансляторах.

С 1913 г. *LRS Relay* выпускалась компанией *Osgam*, которая являлась дочерней компанией *Siemens Corporation*, а позже производством этой лампы занималась компания *TeKaDe*, дочерняя компания *Felten & Guillaume Karlwerk*.

Когда США вступили в Первую мировую войну, они захватили немецкий пароход *Vaterland*¹⁰ (рис. 9) и обнаружили на нем беспроводное оборудование с высокочастотными усилителями и гетеродинными генераторами на лампах *LRS Relay*.

В 1913 г. компания *Telefunken* смогла установить радиоприемники на триодах *LRS Relay* на радиостанциях *Nauen* (Германия) и *Sayville*, находившейся на атлантическом побережье США. Приемники были построены по схеме с обратной связью, что позволяло осуществлять прием слабых сигналов, которые передавались из США через Атлантику, с хорошей слышимостью.

Во время Первой мировой войны лампы *LRS Relay* успешно использовались немецкими сухопутными войсками в проводной телефонной связи, а также в качестве усилителей для перехвата информации с наземной

⁹ Гуго фон Гофмансталь — австрийский писатель, поэт, драматург, выразитель идей декадентства в австрийской литературе конца XIX века — начала XX века.

¹⁰ Океанский лайнер «*Vaterland*» отправилась в свой первый рейс из Куксхафена - Нью-Йорк 14 мая 1914 года. В тот период времени он был самым большим в мире кораблем. 6 апреля 1917 года лайнер «*Vaterland*» стоял на рейде в Нью-Йорке, когда США объявили войну Германии. Совет по судопроизводству Соединенных Штатов захватил лайнер «*Vaterland*» и превратил его в военный корабль под именем «*Leviathan*». «*Leviathan*» совершил девятнадцать переходов между Америкой и Европой во время Первой мировой войны. В 1917 году в американских портах было захвачено около 30 других немецких кораблей, которые были использованы в войне против Германии.

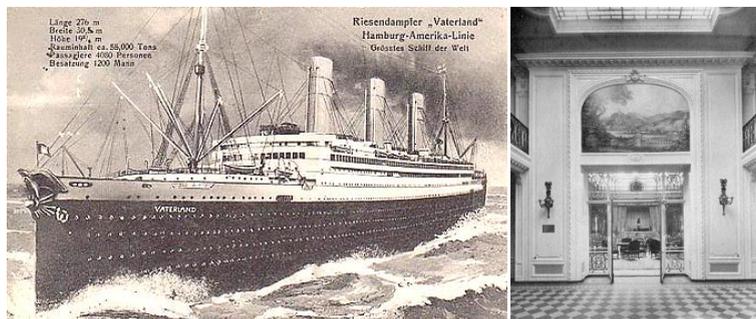


Рис. 9. Океанский лайнер *Vaterland*, на котором была установлена радиоаппаратура на лампах *LRS Relay*. Вход в *Grand Salon*. 1914 г.

Fig. 9. Ocean liner “Vaterland” on which radio equipment was installed on *LRS Relay* tubes. Entrance to the *Grand Salon*. 1914

телеграфии. Устройства на лампах *LRS Relay* с 1913 г. в течение нескольких лет войны позволяли успешно вести переговоры между штабами немецкой армии на западе Германии в Кобленце¹¹ (нем. *Koblenz, Coblenz*) и на востоке в Мариенбурге¹² (нем. *Marienburg*), что составляло примерно 920 км. Это участок связи являлся важным стратегическим звеном в управлении войсками Германии. В сентябре 1914 г. телефонный ретранслятор, использующий лампу фон Либена, обеспечил хороший прием на расстоянии 1200 км на линии, соединявшей штаб-квартиру вооруженных сил германской империи (*German Imperial HQ, Headquarters*) и Восточную Пруссию. На рис.10 представлена принципиальная схемы: усилителя звуковой частоты на лампе *LRS Relay* и детекторного приемника с каскадом усиления по радиочастоте [17]. Усилитель радиочастоты собран на триоде *LRS Relay*.

AEG продолжала производить лампы *LRS Relay* для использования в гражданских и военных телефонных сетях почти до конца первой мировой войны. С появлением триодов с высоким вакуумом компания *Telefunken* в 1914 г. произвела замену ламп *LRS Relay* новыми электронными вакуумными устройствами. То же сделала и компания *Siemens* в 1916 г.

¹¹ В центре города Кобленц стоит колонна из черного камня, которую воздвигли в 1812 г., когда Наполеон пошел войной на Россию. Над чашей из белого мрамора есть надпись на французском языке: «Год 1812. Мемориал в честь похода против русских. Префект Жюль Дозан». Через полтора года, когда русские войска освободили город от французов, колонну предлагали снести. Однако начальник гарнизона города русский генерал французского происхождения Сен-При распорядился иначе. Ниже на постаменте появилась ироничная надпись (также на французском): «Осмотрел, одобрил. Русский комендант города Кобленца. 1 января 1814 г.»

¹² Немецкий город Мариенбург после 1945 г. отошел к Польше и получил название Мальборк. Расположен на севере Польши в дельте Вислы (на протоке Ногат), в 80 км от границы с Калининградской областью России.

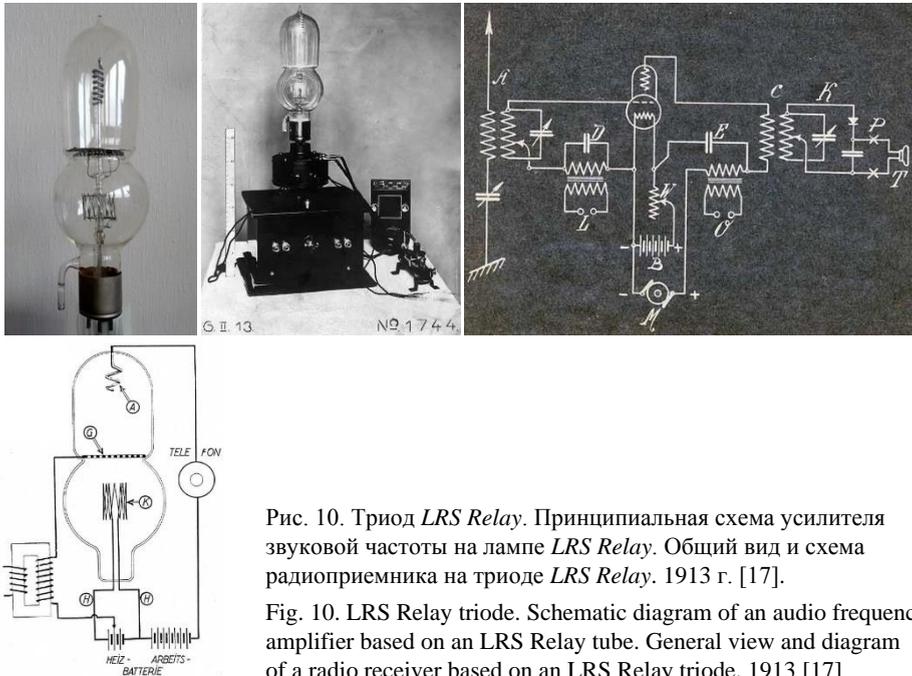


Рис. 10. Триод *LRS Relay*. Принципиальная схема усилителя звуковой частоты на лампе *LRS Relay*. Общий вид и схема радиоприемника на триоде *LRS Relay*. 1913 г. [17].

Fig. 10. LRS Relay triode. Schematic diagram of an audio frequency amplifier based on an LRS Relay tube. General view and diagram of a radio receiver based on an LRS Relay triode. 1913 [17]

Производство ламп *LRS* компанией *Siemens* на заводах *Osram* было прекращено в 1920 г. Переход от наполненных газом триодов к вакуумным электронным лампам был также связан с нестабильностью работы ламп *LRS Relay*, которая зависела от изменения температурных условий эксплуатации.

7. Попытка маркетингового хода за океаном

В начале 1913 г., всего через год после образования Консорциума, Рейс и Штраус прибыли в Нью-Йорк для встречи с представителями компании AT&T, с предложением продажи патентных прав на лампу *LRS Relay* [16, p.60]. По прибытии они получили телеграмму о смерти фон Либена. Предположительно, миссия проводилась от имени или с ведома членов Консорциума. Эта поездка может показаться необычной, учитывая близкие отношения между *Siemens* и *General Electric*, которая также разрабатывала электронные лампы, кроме того, *Reiehspost* и все другие телефонные компании крупных стран находились в тесном контакте и, вероятно, обменивались патентами.

Рейс и Штраус, продвигая в США лампу *LRS Relay*, не имели информации о том прогрессе, который произошел в совершенствовании аудиона Ли де Фореста в последние два года. Главным было то, что де Форест провел демонстрацию своего аудиона 30—31 октября 1912 г. для *Western Electric* и *AT&T*, и в июле 1913 г. *AT&T* приобрела некоторые патентные права у де Фореста и начала дорабатывать аудион до коммерческого продукта. При этом инженеры *Western Electric* и *AT&T* имели представление о лампе *LRS Relay*. Лаборатория *Western Electric* впервые услышала о ней из статьи, опубликованной в августе 1912 г. и полученной ими 10 сентября. Они сразу же обратились к менеджеру завода *Bell Telephone Manufacturing Co.* в Антверпене с просьбой получить и переслать копии трех соответствующих патентов.

AT&T перед приездом Рейса и Штрауса уже определилась с выбором конструкции усилительной лампы и поэтому они были приняты в рамках визита вежливости¹³. Немецкие инженеры посчитали, что их приняли претенциозно, и были очень разочарованы тем, что не смогли продать все патентные права и технологию *LRS*. Их образцы ламп *LRS Relay* хранились в *Western Electric* в течение шести недель и были тестированы без разрешения авторов. Это позволило *AT&T* оценить предлагаемую лампу *LRS Relay* и сравнить её с аудионом де Фореста.

Состоявшиеся патентные переговоры между Е. Рейсом и З. Штраусом, с одной стороны, и Н. Арнольдом и его группой из *AT&T*, с другой, в феврале/марте 1913 г., в ходе которых была продемонстрирована трубка Либена, не привели, как писал Зигмунд Штраус, к положительным результатам. По-видимому, эти переговоры необходимы были, в частности, для *Western Electric* и *AT&T* для того, чтобы ориентироваться в контексте исследований *LRS Relay*. Рейс и Штраус чувствовали, что их патентные претензии на сетку в усилительной лампе будут невыполненными. Они не подозревали, что *AT&T* уже в то время проводила переговоры с де Форестом. Есть свидетельства того, что в последующие годы между патентными претензиями де Фореста и *LRS Relay* на сетку в усилительной лампе происходили юридические конфликты. По крайней мере, в Германии они были урегулированы в пользу фон Либена.

8. Письмо Ли де Фореста в редакцию журнала *Die Naturwissenschaften*

В январе 1914 г. в немецком журнале «Природные науки» (нем. *Die Naturwissenschaften*) была опубликована статья доктора Фрица Шульца

¹³ Визит вежливости (протокольный визит) — это как бы ответ на встречу гостя при его приезде.

(нем. *Fritz von Schulze*) под названием «Расширение телефонных границ через реле Либена и Рейса» (нем. *Die Erweiterung der Fernsprech-grenzen durch das Relais von Lieben und Reiß*) [18]. Статья представляла собой обзор технических решений по осуществлению телефонной связи на большие расстояния. В ней рассматривались вопросы увеличения телефонного трафика на большие расстояния за счет увеличения диаметра проводов, реле Брауна, ртутных дуговых ламп, но главное внимание было уделено возможностям использования усилителей на лампах Либена. Представленные в ней все разработки лаборатории Либена с 1906 по 1913 гг., по существу, повторяли статью Рейса [8].

В статье трехэлектродная лампа Ли де Фореста представлена как газоразрядная лампа со вспомогательным электродом, при этом главный упор делался на её недостатках. Перечисленные автором недостатки лампы Фореста представляли собой пункты из патентов Либена AT54011B [5] и DE249142A [7], а также из статьи [8].

Ли де Форест увидел в статье Фрица Шульца неправильно расставленные акценты в приоритете изобретения трехэлектродной лампы с управляющим электродом в виде сетки и 8 июня 1914 г. написал по этому поводу письмо в редакцию журнала *Die Naturwissenschaften* [19]. Он отметил, что устройство Либена и Рейса в его нынешней и практической форме ничем не отличается от формы, запатентованной им в Соединенных Штатах в 1907 г. (патент US841387).

Далее отметим основные замечания де Фореста. При этом он пишет: «Несомненно, я был первым, кто показал сетку или промежуточный электрод в откачанном детекторе с горячей нитью в качестве электрода, и получил широкое одобрение патентных претензий как в Германии в 1908 г., так и в Соединенных Штатах, на эту ключевую особенность. Все замечательные свойства основаны на этом сеточном электроде и двух независимых цепях (одна для сетки и одна для анода), которые делают аудион детектором, усилителем тока и генератором, и он в любой форме обладает бесспорным превосходством над другими формами детекторов и механических реле».

Далее де Форест указывает на то, что автор публикации (Ф. Шульц), по-видимому, совершенно не понимает, что происходит в аудионном усилителе и приводит цитату из статьи: «Метод (де Фореста) имел недостаток, заключающийся в том, что в результате эффекта клапана катод нагревается, чтобы уменьшить внутреннее сопротивление разрядной трубки до тех пор, пока она не загорится красным, только полуволны могут проходить между катодом и другими электродами, поэтому невозможно выделить переменные токи той же частоты и формы волны, что и токи, кото-

рые необходимо усилить. Кроме того, можно использовать только очень слабые токи... Я бы списал это совершенно ошибочное заявление на полное незнание того, что происходит в аудионе, если бы ваш автор позже правильно не описал эффект в трубке Либена в своем эссе, которое содержит в точности три основных элемента моего изобретения и использует их в практически идентичных схемах».

В конце письма де Форест подчеркивает, что правда: «реле было изобретено для телефонной связи», но оно было изобретено и запатентовано за много лет до того, как началась работа Либена и Рейса.

9. Ответ Фрица Шульца на письмо Ли де Фореста

23 июня 1914 г. Фриц Шульц ответил на замечания Ли де Фореста. Его ответное письмо написано в виде 5 пунктов [20]:

1. Г-н де Форест цитирует предложение из моего эссе, объявляет его полностью ошибочным, но не говорит о том, что он считает неправильным.

2. По мнению г-на де Фореста, реле Либена — Рейса в своей нынешней практической реализации ничем не отличается от *Audion*. В качестве доказательства он цитирует американский патент № 841387. Следует отметить существенные фундаментальные различия между двумя устройствами, которые также влияют на режим работы и чувствительность.

Audion работает со свободными электронами, испускаемыми светящейся вольфрамовой проволокой, т. е. с катодными лучами; реле Либена — Рейса, с другой стороны, имеет световой разряд, то есть движение частиц газа или пара в замкнутом пространстве, вызванное ударной ионизацией. Эти два устройства также отличаются друг от друга своими катодами, соотношением потенциалов и количеством выделяемой энергии — особенностями, которые настолько ясны и очевидны для любого эксперта, что они не должны были ускользать от мистера де Фореста.

3. Г-н де Форест подчеркивает, что его аудион усиливает токи значительно ниже предела слышимости без искажений, и что он может использовать каскадные соединения, в которых 10-кратное, 60-кратное 500-кратное усиление достигается на одном-трех уровнях. Само по себе это не является преимуществом перед реле Либена — Рейса, оно также усиливает токи намного ниже предела слышимости, также можно включать несколько реле каскадом, только вы получите значительно большее усиление, потому что у вас получается примерно 30-кратное усиление на каждом каскаде. Однако г-н де Форест забывает упомянуть, что усиление его реле значительно уменьшается, если кто-то хочет усилить токи, которые не ослабляются или ослабляются; в этом отношении реле Либена — Рейса

значительно превосходит аудион, поскольку он способен поглощать гораздо больше энергии, что г-н де Форест всегда называет недостатком.

4. Г-н де Форест заявляет, что он обходится без большей формы и, следовательно, без большего усиления звука в пользу удобства. Я заявляю здесь, что увеличение газового пространства во время прослушивания не увеличивает усиление. Мистер де Форест, вероятно, сможет добиться более высокого энергопотребления на один аудион с более крупными габаритами, но он не может при этом увеличить относительно низкий коэффициент усиления 10. С другой стороны, реле Либена — Рейса может иметь точно такие же размеры, что и аудион, но и без малейшего уменьшения размера, получить коэффициент усиления 30.

5. В конце своего письма г-н де Форест говорит, что его реле было изобретено и запатентовано за годы до того, как началась работа Либена и Рейса. Это не соответствует общеизвестным фактам. Г-н де Форест подал заявку на патент на свое реле 25 октября 1906 г. (американский патент № 841 387), а г-н фон Либен — его *DRP* № 179 807 от 4 марта 1906 г. В последней публикации впервые было описано электронно-лучевое реле. Мне совершенно необъяснимо, как господин де Форест может претендовать на приоритет в этой ситуации.

В конце ответа Фриц Шульц пишет: «Оценивая факты по делу, общественность может придерживаться только того, что им было передано, то есть в данном случае существующей литературы, и из этого следует, что г-н де Форест не был первым в рассматриваемой области».

10. Использование лампы *LRS Relay* в телефонии

Весной 1913 г. в Берлине, вскоре после ранней смерти Роберта фон Либена, Е. Рейс устроил презентацию триода *LRS Relay* перед широкой национальной и международной аудиторией. В то время считалось, что лампу Либена можно будет использовать только как усилитель голоса. На рис. 11 представлен телефонный усилитель типа *Telefunken EV72* на лампе *LRS Relay* производства *Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG)* [21]. Устройство усиливало сигнал в 20—25 раз при напряжении на аноде 220 В и напряжении нити накала 32 В. В комплект этого усилителя, изготовленного в 1913 г., входило: блок питания, лампа *LRS Relay*, высокочастотный адаптер, блок предохранителей и кабели.

Однако крупным компаниям требовался ламповый аппарат для телефонных линий. Такой аппарат с учетом специфики и условий эксплуатации телефонных сетей должен обладать высокой стабильностью работы. Проблему не удалось решить в короткие сроки из-за температурной неста-

бильности в работе лампы *LRS Relay*, причиной которой явилась зависимость давления паров ртути от внешней температуры. Лишь в августе 1914 г., после изобретения термостата для этой лампы, получилось осуществить задуманное и получить на него патент DE293460 рис.12 [22]. Согласно изобретению, необходимо было лампу установить в термостат, после чего автоматически обеспечивалось поддержание её температуры за счет охлаждающего эффекта воздушного потока. После этого лампа *LRS Relay* стала относительно стабильным устройством, пригодным для практического использования в качестве телефонного усилителя.

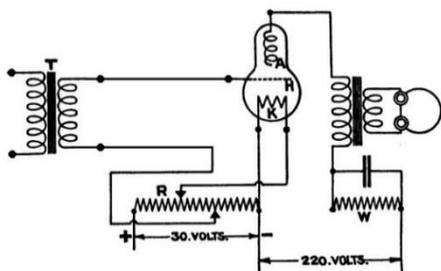


Рис. 11. Телефонный усилитель *Telefunken* EV72: принципиальная схема, общий вид лампы *LRS Relay* на фоне современных радиоламп, общий вид усилителя (1913 г.) и монтаж усилителя.

Fig. 11. Telephone amplifier *Telefunken* EV72: schematic diagram, general view of the *LRS* Relay tube against the background of modern radio tubes, general view of the amplifier (1913) and installation of the amplifier

На рис. 12 представлена разработанная Е. Рейсом схема ретранслятора для повышения громкости речи между двумя удаленными абонентами [8, р. 726]. Ретранслятор устанавливался не на абонентской станции, а на АТС.

Евгением Рейсом было предложено дуплексное телефонное устройство на лампе *LRS Relay* (рис. 12 [8, р. 728]). Если сопротивления двух линий равны, то взаимоиндуктивный эффект токовых цепей реле невозможен. Если линии на обеих сторонах реле достаточно длинные, то есть если их показатели затухания превышают единицу, то сопротивления добавляемых линий не обязательно должны быть одинакового значения. По этой причине даже кажущееся сопротивление абонентского оборудования в случае длинных линий не влияет на работу реле.

Было обнаружено, что с помощью этого дуплексного устройства (рис. 12) можно добиться хорошей передачи звука по обычным проводам, даже если они обладают разными характеристиками. Усиление, произведенное вставкой реле в телефонную линию, соответствовало уменьшению показателя затухания βl от 2 до 2,4.

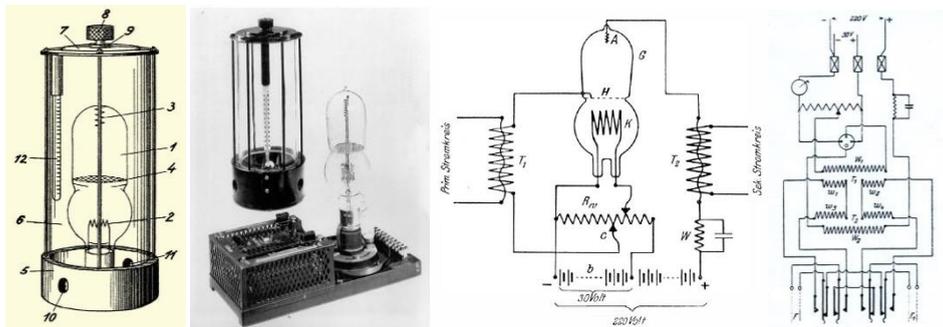


Рис. 12. Общий вид термостата для лампы *LRS Relay* (патент DE293460).

Принципиальная схема ретранслятора телефонной линии.

Принципиальная схема дуплексного телефонного устройства.

Fig. 12. General view of the thermostat for the *LRS Relay* tube (patent DE293460).

Schematic diagram of a telephone line repeater. Schematic diagram of a duplex telephone device

Нужно отметить, что, хотя и были разработаны схемные решения устройств телефонной трансляции (англ. *repeater*), но они остались только на бумаге и не были внедрены в реальные телефонные линии. В то время как высоковакуумные лампы уже производились в США, и было удивительно, что даже представители ведущих компаний — по крайней мере, тогда — так мало знали о подобных разработках на этих лампах в других странах.

11. Дальнейшие разработки на основе технологии *Lieben Tube*

В Германии высоковакуумные лампы начали использовать позже, чем в США. Немецкие ученые считали, что для хорошей работы трубки необходимо определенное давление газа. Летом 1914 г. компания *Telefunken* под руководством Ганса Рукопа (*Hans Rukop*, 27.02.1883—03.08.1958) начала интенсивные исследования по разработке «жесткого» триода (лампы с высоким вакуумом). Несмотря на это сотрудники лаборатории *Lieben Consortium* Евгений Рейс и Александр Мейснер продолжали разработки радиоустройств с использованием технологии *Lieben Tube* и с учётом их оригинальности получать соответствующие патенты на изобретения как в Германии, так и за рубежом.

В 1913 г. AEG произвела экспериментальный двойной триод на лампах Либена (нем. *Lieben-Zweifachröhre*), рис. 13 [23]. Лампа *Lieben-Zweifachröhre* не пошла в серийное производство, но с ней были проведены различные эксперименты.

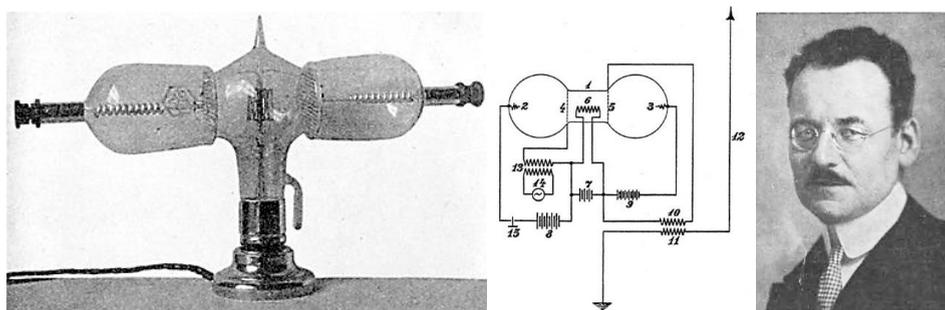


Рис. 13. Общий вид двойного триода Либена производства AEG (1913 г.).
Принципиальная схема радиоприемника по патенту А. Мейснера DE334675A
(приоритет от 23 апреля 1914 г.) Александр Мейснер (1929 г.).

Fig. 13. General view of the Lieben double triode manufactured by AEG (1913).
Schematic diagram of a radio receiver according to A. Meissner's patent DE334675A
(priority dated April 23, 1914) Alexander Meissner (1929)

В 1914 г. А. Мейснер разработал и запатентовал гетеродинный радиоприёмник на лампе *Lieben-Zweifachröhre* [24]. Другие названия этого типа радиоприемника: гомодин, синхродин, приемник нулевого или прямого преобразования. Принципиальная схема приемника Мейснера приведена на рис. 10. Она содержит два каскада на триоде типа Либена. Радиосигнал, принятый антенной 12, приходит на первый каскад (триод, правая половина лампы), где происходит его усиление. После усиления радиосигнал подается на второй триод, где он смешивается с сигналом внешнего генератора 14 (гетеродин), в результате возникают биения f_{36} , т. е. колебания с частотой $f_{36} = f_c - f_c$ (f_c — частота принимаемого сигнала, f_c — частота гетеродина). Биения имеют звуковую частоту, которая может быть прослушана на головные телефоны (15). Формула изобретения в немецком патенте содержит три пункта, в её первом пункте особенность приемника отмечена следующим образом [24]:

«1. Приемное устройство для беспроводной телеграфии, отличающееся тем, что на электронно-лучевое реле воздействуют с помощью переменного тока, генерируемого в точке приема, таким образом, что захваченная высокочастотная энергия одновременно преобразуется и усиливается».

А. Мейснер получил патент на гетеродинный радиоприёмник (рис. 10) не только Германии, но ещё и в США. В формуле этого изобретения содержится всего два пункта [25]:

«1. В радиоприемной схеме источник переменного тока звуковой частоты, термоэмиссионная лампа (англ. *thermionic tube*), имеющая два анода и две сетки, средство для наложения принятых колебаний на одну из сеток и средство для наложения колебаний звуковой частоты на другую сетку.

2. Способ работы радиоприемной схемы, содержащей термоэмиссионную лампу, имеющую два анода и две сетки, который включает в себя наложение на одну сетку принимаемых высокочастотных колебаний и наложение на другую сетку колебаний звуковой частоты».

В формуле изобретения американского патента, в отличие от немецкого, отмечена особенность конструкции лампы, используемой в радиоприемнике.

12. Заключение

Газонаполненный параами ртути триод *LRS* был изобретен через четыре года после аудиона, в 1910 г. Это был прорыв немецких технологий в области электронных усилителей, который имел целью обойти патенты Ли де Фореста и отказаться от их покупки. Трехэлектродные вакуумные лампы *LRS* конструкции фон Либена всего несколько лет использовались в телефонных проводных системах и беспроволочной телеграфии, в основном Германии, а также некоторых других странах, в том числе России. Триод *LRS* и конструкции на его основе оставили заметный след в истории радиоэлектроники. Первый практический генератор высокочастотных колебаний был собран на этом триоде и на его схемное решение получен патент.

Невзирая на это конструкция трехэлектродного аудиона Ли де Фореста оказалась более технологичная и перспективная. Радиолампа американского изобретателя стала элементной базой первой «электронной революции».

В первой немецкой высоковакуумной лампе использовались технологии, изобретённые по этому направлению в США, другими словами, в ней не использовались разработки, сделанные сотрудниками *LRS*. Однако разработки сотрудников *LRS* все же принесли свою пользу. *Telefunken*, как компания-разработчик и маркетинговая компания консорциума, смогла противостоять важным патентным искам против США и, таким образом, полностью доминировать на немецком рынке. Де Форест не смог заплатить за свои немецкие патенты и подал заявку только на детектор (*Audion*), а не на усиление, упомянутое в тексте его патента.

Несмотря на то, что в дальнейшем предпочтения были отданы лампам с высоким вакуумом, производство *LRS*-ламп в компании *TeKaDe* продолжалось с перерывами до 1920 г., после чего было прекращено.

Список литературы

1. Пестриков В. М. Развитие однокаскадных аудионных технологий и патентные разработки // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2021. Т. 4, № 3. С. 218—274.
2. Пестриков В. М. Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 4. С. 433—455.
3. Пестриков В. М. Применение катодно-лучевых технологий для усиления электрических сигналов // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 2. С. 360—383.
4. Skowronnek K. Zur Entwicklung der Elektronenverstärker-Röhre (Lieben-Röhre). In : Archiv für geschichte der mathematik, der naturwissenschaften und der technik. Februar 1931. Band 13. Heft 3/4. Neue Folge IV. S. 225—276.
5. Lieben von R., Reisz E., Strauss S. Relais für undulierende Ströme. Zusatzpatent zum Patente Nr. 48172. Patente AT54011B Angemeldet am 7. Dezember 1910. Beginn der Patentdauer : 1. Februar 1912. Längste mögliche Dauer : 30. November 1925.
6. Weintraub E. Vapor electric apparatus. Patent US925060. Patented June 15, 1909. Application filed December 21, 1903.
7. Lieben von R., Reisz E. und Strauss S. Relais für undulierende Ströme. Zusatz zum Patent 236716 vom 4. September 1910. Patentschrift DE249142. Patentiert im Deutschen Reiche vom 20. Dezember 1910 ab. Längste Dauer : 3. September 1925.
8. Reisz E. A new method of magnifying electric currents // The Electrician. February 6, 1914. Vol. LXXI, No. 18. P. 726.
9. Lieben von R., Reisz E., Strauss S. Relais pour courants ondulatoires. Brevet principal pris le 20 janvier 1911. Brevet FR13726. Demandée le 20 janvier 1911. Délivrée le 3 avril 1911. — Publiée le 17 juin 1911. (Demande de brevet déposée en Autriche le 7 décembre 1910. Déclaration des déposants).
10. Pichler F. Elektronen zur Signalverstärkung : Die Pionierarbeiten im Laboratorium “Lieben–Reisz–Strauss” in Wien 1905–1913 // e&i elektrotechnik und informationstechnik. Mai 2004. Heft 5. S.180–186.
11. Strauss S. Aus der Geschichte der Lieben Röhre (On the History or the Lieben Tube), Der Radioamateur. Vienna : ERB Verlag, Mar. 1938. S. 125–128.
12. Arco von G. Wege und Werden. 25 Jahre Telefunken. Festschrift der Telefunken-Gesellschaft 1903–1928. Berlin : Telefunken AG, 1928. S. 39.
13. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. Entladungsröhre mit glühender Kathode und eingeschlossenem, dampflieferndem Körper. Patentschrift DE264554A. Patentiert im Deutschen Reiche vom 15. Oktober 1912 ab.
14. PaSos Virtuelles Röhrenmuseum – Kennlinie der Liebenröhre mit der Seriennummer “Ss 990” und Bilder der Röhre im Betrieb. URL: <https://patric-sokoll.de/R%C3%B6hrenmuseum/Kennlinie%20Liebenr%C3%B6hre/Kennlinie%20Liebenr%C3%B6hre.html>. (date of access: 28.08.2021).
15. Tube Collection Udo Radtke. Germany. Robert von Lieben. Liebenröhre. URL: https://www.tubecollection.de/ura/von_lieben.htm. (date of access: 28.08.2021).

16. Thomas H., Briggs I. The triode that predated de Forest: Robert von Lieben and the LRS relay // *The Awa Review*. 1990. Vol. V. P. 45–61.
17. Jung E. Lieben-Röhre – Versuche vom Jahr 1913. Web Site “Radio Museum”. URL: http://www.radiomuseum.org/forum/lieben_roehre_versuche_vom_jahr_1913.html?language_id=5. (date of access: 28.08.2021).
18. Schulze F. Die Erweiterung der Fernsprech-grenzen durch das Relais von Lieben und Reiß // *Die Naturwissenschaften*. 2. Januar 1914. Heft 1. S. 7–14.
19. De Forest, L. Das Gasrelais von Lieben und Reiß // *Die Naturwissenschaften*. 1914. Vol. 2, Iss 29. S. 716.
20. Schulze F. Erwiderung auf das Vorstehende // *Die Naturwissenschaften*. 1914. Vol. 2. Iss 29. S. 716–717.
21. Stanley R. *Text Book on Wireless Telegraphy*. London : Longman’s, Green and Co., 1914. P. 297–299.
22. Gesellschaft für drahtlose telegraphie M. B. H. in Berlin. Anordnung für Kathodenstrahlröhren, die als Verstärkungsrelais wirken. Patentschrift DE293460. Patentierte im Deutschen Reiche vom 23 August 1914 ab.
23. Schmidt H.-T. Die Liebenröhre. LUR: <http://www.hts-homepage.de/Lieben/Lieben.html>. (date of access: 28.08.2021).
24. Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. in Berlin. Empfangsanordnung für drahtlose Telegraphie. Patentschrift DE332581. Patentierte im Deutschen Reiche vom 10. April 1914 ab.
25. Meissner A. Receiving arrangement for wireless telegraphy. Patent US1454328. Application, filed September 3, 1921. Patented May 8, 1923.

Информация об авторе

Пестриков Виктор Михайлович, д. т. н., профессор Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-0466-881X.

Information about the author

Viktor M. Pestrikov, Dr. Tech. Sc., Professor, St. Petersburg State University of Film and Television, St. Petersburg, Russian Federation. ORCID 0000-0003-0466-881X.